

Н.А.Бернштейн не км



БИОМЕХАНИКА И ФИЗИОЛОГИЯ*! ДВИЖШИЙ*"-.

Бернштейн

Николай Александрович <

(05 10 1896-16 01 1966)

Член-корреспондент АМН (1946)

Российский психофизиолог соавтор к-ции физиологии активности и методов регистрации естественных ЦИИ человека в норме и патологии. На основе его разработок проводилась реабилитация раненных во время Великой Отечественной войны, формирование спортивных навыков.

Труды Н. А. Бернштейна оказали большое влияние на развитие физиологии, психологии, биологии, кибернетики, философии, естествознания.



9 785895 025062

ПСИХОЛОГИ РОССИИ
Серия основана в 2003 г.

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ОБРАЗОВАНИЯ
МОСКОВСКИЙ ПСИХОЛОГО-СОЦИАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

Н. А. Бернштейн

Биомеханика и физиология движений

Избранные психологические труды

Под редакцией В. П. Зинченко

2-е издание

Москва—Воронеж
2004

сочленения этой цепи испытывают *только разгибательные угловые ускорения*, или наоборот. Случаи же, когда мышца, переброшенная через сочленение *A*, вызывает угловые ускорения во всех прочих сочленениях *B, C, D...* и т. д. кинематической цепи, резко преобладают над случаями, когда она этого не делает. Ниже будет проанализировано несколько типичных примеров указанного характера. И вот, как будто для того, чтобы, наконец, пробудить наше внимание и заставить всмотреться в реальный координационный процесс, природа нагромождает на осложнения, связанные с огромной свободой подвижности скелетных кинематических цепей, еще одну трудность, в свою очередь намного осложняющую проблему центрального управления движением. Эта новая трудность в том, что двигателями кинематических цепей организма служат *упругие тяжи*, перекинутые между звеньями, — *скелетные мышцы*.

Дело в том, что поперечнополосатая мышца представляет собой своеобразно упругое образование, хотя и не дающее прямой пропорциональности между приростами длин и приростами напряжений, но тем не менее характеризующее для каждого из своих физиологических состояний вполне определенной кривой зависимости между обеими этими величинами. Иными словами, напряжение мышцы (или, что одно и то же, развиваемое ею усилие) есть функция сразу двух переменных: ее физиологического состояния и ее настоящей длины. Полная картина зависимости между эффективным процессом или физиологическим состоянием мышцы, с одной стороны, и развиваемым ею напряжением — с другой, может быть представлена только в виде целого семейства кривых (рис. 3). Каждая кривая подобного семейства изображает то или другое физиологическое состояние мышцы¹; каждая точка такой кривой — степень напряжения как функцию длины при этом физиологическом состоянии. Посылая в мышцу какую-то определенную совокупность

¹ То есть функцию процентного количества активно работающих мионов качества, включенных в работу мионов, параметров возбудимости каждого из них и т. д.



Рис. 3. Семейство линий зависимости между мерой возбуждения, длиной и напряжением мышцы (схема).

Линии 0—12 соответствуют постепенному нарастанию механической меры возбуждения мышцы от полной денервации (*f*) до максимальной дозы возбуждения (*F*); по абсциссам отложены (по логарифмической шкале) процентные изменения длины мышцы по отношению к максимальному сокращению, принятому за 1, по ординатам также в логарифмическом масштабе — приросты напряжения *P*. Подробности в тексте.

импульсов, центральная нервная система назначает этим одну из кривых упомянутого семейства, но, как это легко понять, отсюда еще очень далеко до того, чтобы определилась та или другая точка на этой кривой, т. е. фактически развиваемое мышцей усилие. Итак, получается, что из всей совокупности сил, определяющих движение сложной кинематической цепи, — сил внутренних, реактивных и внешних — организму хотя в некоторой мере подвластна только первая категория сил; но, как мы сейчас убеждаемся, и по отношению к этим внутренним силам нет и не может быть однозначной зависимости между эффективным процессом и возникающей за счет его силой. При этой же самой импульсации она может оказаться двадцать раз подряд совершенно разной в зависимости только от позы (и скорости деформации) кинематической цепи — от переменных, которые, в свою очередь, в очень многом зависят от не подвластных организму внешних и реактивных сил.

УДК 159.943
ББК 88.3

Главный редактор
Д. И. Фельдштейн
Б51 Заместитель главного редактора
С. К. Бондырева

Члены редакционной коллегии:

А. Г. Асмолов	А. И. Донцов	Н. Д. Никандров
А. А. Бодалев	Е. А. Климов	В. В. Рубцов
В. А. Болотов	Н. Н. Малофеев	В. Д. Шадриков
А. А. Деркач		

Рецензент

академик РАО, доктор психологических наук,
профессор В. В. Давыдов

Автор вступительной статьи

академик РАО и АПСН, доктор психологических наук,
профессор В. П. Зинченко

Составитель

доцент А. И. Назаров

Бернштейн Н. А.

Б51 Биомеханика и физиология движений: Избранные психологические труды / Под ред. В. П. Зинченко. — 2-е изд., — М.: Издательство Московского психолого-социального института; Воронеж: Издательство НПО «МОДЭК», 2004. — 688 с. — (Серия «Психологи России»).
ISBN 5-89502-506-4 (МПСи)
ISBN 5-89395-546-3 (НПО «МОДЭК»)

В данную книгу избранных трудов выдающегося ученого вошли его работы, синтезирующие достижения биомеханики, физиологии, теории автоматического регулирования, в которых он вплотную подошел к психологическим проблемам организации и функционирования исполнительного действия. Намеченные Н. А. Бернштейном перспективы для психологии и физиологии активного поведения, одной из форм которого является двигательная активность, остаются главным ориентиром для всех, кто работает над проблемами моделирования живого движения и производных от него форм психической жизнедеятельности. Книга предназначена для психологов, физиологов, инженеров и студентов, готовящихся к психолого-педагогической деятельности.

УДК 159.943
ББК 88.3

ISBN 5-89502-506-4 (МПСи)

ISBN 5-89395-546-3 (НПО «МОДЭК»)

© ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ
Российской академии образования (РАО), 2003
© Московский психолого-социальный
институт, 1997, 2003
© Оформление. НПО «МОДЭК», 1997, 2003

От редактора

Выдающийся русский ученый Н. А. Бернштейн представлял несколько направлений в науках о человеке — биомеханику, физиологию, психологию и кибернетику. В каждом из них есть область специальных знаний, развитие которых неизбежно удаляет ученого от того интегрального начала, из которого вырастают бесконечные ветви дифференциации единой науки. Но в каждом из них есть и междисциплинарные аспекты, возникающие на определенной стадии развития специальных знаний, на самых кончиках ветвей дифференциации, образуя крону древа науки, — то, к чему нельзя прикоснуться, потому что ее нет, и то, чем мы любимся и восхищаемся, потому что мы ее видим. Конечно, видеть неосознаваемое дано далеко не каждому. Именно таким «не кажым» был Н. А. Бернштейн.

Он родился в г. Москве 5 октября 1896 г. Его дед был видным физиологом, с которым работал М. И. Сеченов. Отец был известным психиатром, учеником С. С. Корсакова. Н. А. Бернштейн получил высшее медицинское образование, изучая одновременно математику и естественные науки. После работы военврачом, а затем психиатром он в 1922 г. перешел в Центральный институт труда, где вскоре возглавил лабораторию биомеханики. С этого времени начинается «биомеханический» период творчества Н. А. Бернштейна. Он знаменателен не только построением оригинальной общей биомеханики, но и многочисленными прикладными исследованиями трудовых, спортивных, исполнительных (в музыкальном искусстве) и локомоторных движений, но и самое главное — разработкой нового циклографического метода. В 1927 г. А. А. Ухтомский назвал этот метод «микроскопией времени», «микроскопией хронотопа», отметив, что это «микрокопия не неподвижных архитектур,

но микроскопия движения в текуче-изменяющейся архитектуре при ее деятельности». Ухтомский сравнивал достижения Бернштейна с изобретением Левенгука и Мальпиги.

С 1935 г. начинается следующий период творчества Бернштейна, основные контуры которого были обозначены в его фундаментальной статье «Проблема взаимоотношений координации и локализации». Благодаря методу циклограмметрии биомеханика переросла в биодинамику, а последняя была синтезирована Н. А. Бернштейном с нейрофизиологией и психологией движений. Апогеем этого периода стала монография «О построении движений», вышедшая в 1947 г. и удостоенная Сталинской премии. Здесь впервые движение было представлено как психическое действие. Интересно, что Н. А. Бернштейн был связан с психологией через ее высшие этажи, не затрагивая ее узко специальные интересы. В его работах встречаются только предельные психологические понятия: образ, смысловая структура, действие, значение, навык, активность. Но они наполнены таким конкретным содержанием, которое открывает суть психического в наиболее важных его частных проявлениях. По-видимому, это не случайно. Н. А. Бернштейн был современником Л. С. Выготского. В 20-х годах они вместе работали в Психологическом институте Московского университета, были друзьями, играли в шахматы. Они участвовали в написании «Практикума по экспериментальной психологии», изданного в 1927 г. В Психологическом институте Н. А. Бернштейн познакомился с А. Р. Лурией — соратником Л. С. Выготского, основоположником отечественной нейропсихологии. Их дружеские отношения продолжались непрерывно вплоть до кончины Н. А. Бернштейна в 1966 г. Именно А. Р. Лурия перевел на английский и организовал издание работы Н. А. Бернштейна «Координация и регуляция движений», вышедшей в Англии в 1967 г.

С 1950 г. начинается третий, в определенном смысле пещальный, и последний период творчества Н. А. Бернштейна. В этом году состоялась совместная сессия АН СССР и АМН

СССР, посвященная павловскому учению. Глубоко уважая И. П. Павлова, Н. А. Бернштейн мужественно восстал против последовавшего за ней десанта эпигонов условнорефлекторной теории высшей нервной деятельности на позиции психологии и физиологии. Суть его критики безумного перенесения принципа условного замыкания нервных связей на всю высшую нервную деятельность изложена в опубликованной позднее статье «Назревшие проблемы регуляции двигательных актов». Ортодоксальной физиологии, основанной на исследованиях полумертвых препаратов и обездвиженных животных, он противопоставил физиологию активности, психологию живого движения, где царствует не механический детерминизм рассудка, а неопределенность и свобода разумного действия. В обстановке 50-х годов этот научный подвиг был отмечен... полным отстранением Н. А. Бернштейна от экспериментальных работ и «негласным» запретом на его публикации. Но опережающие время идеи созрели в его голове и в это мрачное безвременье. Они нашли свое отражение в многочисленных трудах Н. А. Бернштейна после 1960-го года, среди которых наиболее значительными были «Очерки по физиологии движений и физиологии активности».

В данный сборник вошли некоторые главные работы Н. А. Бернштейна, отражающие все три периода его творчества, хотя они не расположены в хронологическом порядке. Скорее это хронотопия, в которой властвует не время, а идея.

В физиологическом плане бернштейновская теория построения движений — исчерпывающая теория. Она может быть дополнена деталями, но не по существу. Перспектива ее развития, в котором она сама может оказаться необходимой, но сгорающей промежуточной ступенью, — в психологическом и междисциплинарном пространствах. И это уже становится реальностью, Н. А. Бернштейн стал яркой звездой не только отечественной, но и мировой психологической науки.

В. П. Зинченко

От составителя

В данное издание вошли научные работы Н. А. Бернштейна разных лет. Часть из них («О построении движений» и очерки 8—12 из книги «Очерки по физиологии движений и физиологии активности») была опубликована в сборнике под редакцией академика О. Г. Газенко «Бернштейн Н. А. Физиология движений и активность. М.: Наука, 1990», из которого они перепечатываются без изменений, за исключением исправления имевших место опечаток и ошибок.

Книга Н. А. Бернштейна «Биомеханика для инструкторов» частично перепечатана по одноименному изданию ее в 1925 г., ставшему библиографической редкостью. Содержащийся в ней материал не устарел и будет представлять интерес для разных специалистов, работающих над проблемами моделирования живого движения. Последние четыре лекции из этой книги были опущены ввиду их узкоспециальной направленности (популярное изложение устройства центральной нервной системы, методика и некоторые результаты циклографических исследований конкретных движений и пример биохимического анализа ударных движений молотком, рубки зубилом).

В упомянутом выше издании 1990 г. содержится биографический очерк о Н. А. Бернштейне, перечень его трудов и список литературы о нем, но отсутствует предметный указатель; этот недостаток восполнен в данном сборнике.

А. И. Назаров

О построении движений

Предисловие

ii

Работа над предлагаемой книгой¹ была начата еще в 1939 г., и уже в 1940 г. в журнале «Теория и практика физической культуры» были опубликованы подробные тезисы ее первых частей. Разразившаяся гроза Великой Отечественной войны прервала подготовку этой книги к печати. В последний год войны автор заново написал весь текст, подвергнув его коренной переработке, значительно уточнив и дополнив новыми материалами. Извлечение из центральной части книги — теории уровней построения движений — в сокращенном виде вышло в свет в 1945 г. в сборнике «Движение и деятельность»; параллельно с этим автор получил возможность включить популяризированное изложение основ излагаемой здесь теории координации движений в «Учебник физиологии для вузов по физической культуре» под редакцией профессора М. Маршака, вышедший в 1946 г., — возможность, за которую автор глубоко признателен редактору названного руководства.

Представляя собой в некоторых отношениях итог двадцатипятилетней работы автора и окружавшего его научного коллектива в области физиологии движений человека, настоящая книга является в то же время попыткой обобщения и подытоживания материалов и концепций по вопросам координации движений в норме и патологии, скопившихся и назревших в мировой литературе. Значительная часть не только идей, но и терминов этой книги отнюдь не новы; в частности, с идеей разноуровневой структуры и регуляции двигательных актов мы встречаемся впервые уже у Hughlings Jackson, а термин «уровень» в контексте «уровней переключения с афферентных путей на моторную систему» применен

¹Бернштейн И. А. О построении движений. — М., 1947.

академиком Л. А. Орбели в его «Лекциях по физиологии нервной системы» в 1934 г. Вполне естественно, прибегая к этому же термину, автор в этой книге, однако, существенно изменяет его содержание сравнительно с его трактовкой у Л. А. Орбели: а) подчеркивая, что в материальном субстрате каждого из центрально-нервных координационных уровней обязательно содержится как эффекторные, так и свои особые рецепторные образования, б) устанавливая в качестве причины выживания того или другого из уровней на роль ведущего по данному движению (вообще не указываемой Л. А. Орбели) содержание и структуру подлежащей решению двигательной задачи и в) давая конкретный перечень наблюдаемых у человека координационных уровней и их подробное описание.

Кроме двух упомянутых классиков нервной физиологии мы встречаемся с фрагментарными высказываниями, созвучными настоящей книге, и у целого ряда других авторов, как-то: Sherrington, Graham Brown, Goldstein, O. Foerster, Lindhard, Wachholder, Monakow, М. О. Гуревич и др.: эти идеи действительно, как принято выражаться, «носятся в воздухе».

Несомненно, уже настало время для подведения итогов и обобщений по линии координационной физиологии, и откладывать подобное обобщение на более долгий срок было бы неправильным. Тем не менее автор больше, чем кто бы то ни был, сознает все существенные недочеты своего труда: недостаточную полноту фактического материала, гипотетичность некоторых построений, субъективную направленность отдельных выводов. В известных отношениях эта книга есть, может быть, в большей мере программа предстоящих неотложных исследований, нежели догматический отчет о твердо установленных результатах. Автора ободряет сознание, что на некоторых этапах научной работы удачно намеченная программа может также принести свою долю пользы. По крайней мере к настоящему моменту обнаружилось, что ряд положений, содержащихся в этой книге, способен заин-

тересовать и в известной степени обслужить практиков из таких разнородных областей, как физическое воспитание, невропатологическая семиотика и диагностика, психофизиология труда и оборонных специальностей, педагогика художественного исполнительства и т. д.

Автор готов приветствовать самую суровую критику, лишь бы она способствовала общему успеху естественной науки. Если даже эта критика будет уничтожающей для настоящей книги, но пробудит к жизни мысли и построения, приближающие нас к объективной истине, — автор будет удовлетворен сознанием, что все же книга смогла послужить одним из скромных кирпичей для фундамента *физиологии будущего*.

Н. Л. Бернштейн
Москва, январь 1947 г.

Часть первая Движения

Глава первая

О происхождении двигательной функции

Из всех областей вопросов, относящихся к компетенции общей физиологии, ни одна не является столь специфически человеческой, как область физиологии двигательных функций, несмотря на наличие и здесь бесспорной и непрерывной преемственности от филогенетических предков. Дело в том, что больше ни в одной системе физиологических функций не имел места такой интенсивный и вдобавок устремляющийся филогенетический прогресс. Едва ли мы смогли бы отметить существенные сдвиги в смысле эволюционного прогресса между любым представителем теплокровных и человеком в какой бы то ни было иной функциональной сфере — хотя бы в области вегетативных функций дыхания, кровообращения, обмена и т. д.¹ Исключение в смысле, несомненно, еще более бурного прогресса составляет только область, выделенная по методологическому признаку в ведение самостоятельной науки — область явлений психической жизни, или, как нам будет удобнее для связанного контекста обозначать ее здесь, область центральных замыкательных

¹ Не упоминаем здесь о физиологии труда, представляющей собой неоспоримо и монополю отрасль физиологии человека. Физиология труда — подразумевается в основном физиическое труда — либо изучает самый процесс труда, т. е. трудовые движения, и тогда это физиология движений; либо когда она обращается к вегетативным отравлениям, то изучает функции, сами по себе не изменившиеся у человека по сравнению с животными, но лишь поставленные в измененные условия. НЛ встречающиеся у животных. Движения же, как трудовые, так и бесчисленные другие, у человека изменились сами сравнительно с тем, чем располагают животные.

систем нервного аппарата. Но тот самый вопрос метода, который послужил ее выделению в самостоятельную научную ветвь, создает здесь непреодолимое добавочное осложнение. Если бы захотели представить упомянутый прогресс графически, то для функции дыхания или обмена он изобразился бы линией, вряд ли существенно отклоняющейся — в пределах филогенеза теплокровных — от параллельности с осью абсцисс. Кривая развития психических функций имела бы все основания выглядеть на подобном графике очень круто восходящую вверх; но, к сожалению, мы имели бы объективное право нанести на чертеж только ее самую правую (самую верхнюю) площадку, относящуюся к человеку. Вся остальная кривая осталась бы в области гипотез из-за полного отсутствия объективного материала, касающегося животных, несмотря на всю героико объединенных усилий зоопсихологов, бихевиористов и кондиционалистов. И только для двигательных отправлений мы можем вполне реально и объективно построить полностью их эволюционную кривую, круто восходящую к правому концу графика и далеко обгоняющую темпами своего развития сам по себе весьма не медленно эволюционирующий их морфологический центрально-нервный субстрат. Уже одно это обстоятельство делает физиологию движений интересной для психолога и невролога, даже независимо от того значения, какое она имеет для них в качестве необходимого рендант к несравненно лучше разработанной отрасли психофизиологии рецепторных функций.

Но, помимо этого обстоятельства, огромное эволюционное значение двигательной функции оттеняется еще длительностью того срока, в течение которого она занимала ведущее положение в филогенезе соматического аппарата в целом. Рекордный темп роста и эволюции центральных замыкательных систем объясняется именно тем, что этим системам пришлось за тот же промежуток времени проделать больший путь развития: они начали ниже эффекторики, а кончают выше. Руководящая роль как по положению, так и

по ведущему значению в филогенетической эволюции досталась им сравнительно недавно, тогда как раньше они исполняли (и сейчас исполняют у менее развитых организмов) значительно более скромные вспомогательные обязанности интегрирующей связи между рецепторикой и эффекторикой. Современный нам массив животного мира — живая книга филогенетической истории — сохранил нам память о ранней биографии этого органа, едва лишь начинавшего (у кишечнополостных и иглокожих) свою впоследствии головокружительную карьеру малозаметной работой связиста, только что введенного в физиологический обиход новых, биоэлектрический (телеграфный) способ связи на место более древнего способа вещественных гуморальных (так сказать, почтовых) сигнальных пересылок. Однако поворотным пунктом в истории центральных замыкательных систем явилось другое обстоятельство — появление продолговатых животных форм на смену древнейшим округлосимметричным (лучистым) формам. Это определило собой преобладание переднего, ротового, конца тела, первым сталкивающегося как с добычей, так и с опасностью и тем самым оказавшегося перед биологической необходимостью сигнализации всем прочим метамерам, возглавления и объединения их движений и инициативы этих движений. Головной конец становится главным концом. В этом пункте — зародыш централизованных нервных систем на месте древних диффузных (Reflex-Republics Uexkull). Далее, у головных метамеров оказались все предпосылки к возникновению и развитию на них *телерецепторов*, трансформировавшихся каждый путем утончения и усовершенствования из одной из древних контактных категорий (обоняние — из вкусового хеморецептора, слух — из вибрационной), зрение — из кожной фотохимической чувствительности). Телерецепторы оказались могучим централизующим фактором уже потому, что дали животному возможность реагировать на раздражитель, по сравнению с удаленностью которого собственные размеры его тела ничтожно малы; это выдвинуло на первый план локомо-

торные перемещения в пространстве всего тела как целого, отнесив в число второстепенных частные метамерные реакции, преобладавшие в эпоху господства тангорецепторов. Биологическая необходимость локомоций привела к возникновению мощных интегрирующих, синергирующих аппаратов центральной нервной системы — древнейших во всем филогенезе позвоночной группы действительно центральных нервных образований и при этом не превзойденных, как увидим ниже, вплоть до человека в отношении способности к обширнейшим двигательным интеграциям и мышечным синергиям: речь идет о таламо-паллидарной двигательной системе, или *уровне*, как мы будем называть ее в дальнейшем (см. гл. IV).

Как справедливо замечает Sherrington, «телерецепторы создали головной мозг», точнее — именно то, что мы выше назвали центральными замыкательными системами (наложив попутно централизующий отпечаток и на спинной мозг, некогда чисто метамерный, в более позднем филогенезе приобретший несомненные черты центрального образования); но дело в том, что рецепторы, и именно телерецепторы в наибольшей мере, сами являются вторичными, производными приборами, и здесь необходимо углубить и продолжить ход рассуждений Sherrington.

В процессе эволюции соматической системы (разве лишь за исключением самого последнего филогенетического отрезка) определяющим звеном являются эффекторные функции. Судьбу индивидуума в борьбе за существование решают его *действия* — большая или меньшая степень их адекватности во все осложняющиеся процессе приспособления. Ре-цепторика здесь представляет собой уже подсобную, обслуживающую функцию. Нигде в филогенезе созерцание мира не фигурирует как самоцель, как нечто самодовлеющее. Рецепторные системы являются либо сигнальными — мы уже видели их в этой роли, — и тогда любая степень их совершенства не в состоянии сама по себе обеспечить особи биологического преимущества в случае одновременной дефектности

обслуживаемого ими эффекторного аппарата, либо они процессуально обеспечивают полноценную, координированную работу эффекторов — е этой роли мы еще увидим их ниже, — и здесь подсобный характер их деятельности вытекает из самого существа выполняемой ими задачи. Таким образом, и в сигнальной, и в коррекционной роли рецепторы состоят при эффекторных аппаратах, влияя на биологическую судьбу особи или вида не иначе, как через эти последние. Центральные замыкательные системы в этом аспекте исторически являются уже подсобными приборами для под-

Мы покажем дальше, каким путем возникновение и развитие как самих телерецепторов, так и еще более важных для координационной функции *сензорных синтезов*, опирающихся на центральные замыкательные системы, определяются вырастающими и осложняющимися запросами со стороны эффекторики.

Усложнение возникающих перед организмом двигательных задач и откликающееся на него обогащение координационных ресурсов особи совершаются по двум линиям. С одной стороны, двигательные задачи делаются более сложными в прямом смысле слова. Возрастает разнообразие реакций, требующихся от организма. К самым этим реакциям предъявляются более высокие требования в отношении дифференцированное™ и точности; наконец, осложняется смысловая сторона движений, действий и поступков животного. Достаточно напомнить, насколько, например, аэродинамический полет птицы сложнее почти полностью гидростатического плавания рыбы или насколько богаче по контингентам участвующих движений охота хищного млекопитающего по сравнению с охотой акулы. Молодая отрасль проворных теплокровных млекопитающих победила тугоподвижных юрских завров именно своею более совершенной моторикой¹. С другой стороны, в общем составе встающих перед ор-

¹ Мы увидим ниже (см. гл. VII), что это была в основном победа кортикальной приспособительной моторики над древней экстрапиримидной моторикой стереотипов.

ганизмом двигательных задач все возрастает процент задач разовых, непредвиденных, экстремальных за счет более древних шаблонных ситуаций.

Все многочисленные исследования «пластичности нервной системы» показывают наряду с эволюционными возрастанием приспособляемости центральной нервной системы к нетрафаретным изменениям условий немедленность, почти мгновенность ее перестроек при самых фантастических постановах опыта. Но даже если оставить в стороне экзотические экспериментальные анастомозы мышц и нервов, то гораздо более будничным факт возрастающей по ходу филогенеза способности к накоплению индивидуального опыта, к замыканию новых условных связей, т. е. опять-таки к выходу за рамки родовых стереотипов, подтверждает высказанное положение.

Слегка схематизируя, можно сказать, что первая из двух упомянутых линий развития двигательных координации обеспечивается и сопутствуется преимущественно эволюцией рецепторики, вторая — эволюцией центральных замыкательных систем. Во-первых, по линии рецепторики идет систематическое качественное совершенствование рецепторных устройств, ведущих свое начало с самого древнего филогенеза: переслоение древней (палеокинетической, см. гл. III) протопальцевой тактильной чувствительности более новой и тонко работающей эпикритической, реализующейся посредством неокинетического нервного процесса; появление младшей (опять-таки неокинетической) формы проприоцепторики — геометрической, воспринимающей позы и скорости и возглавляемой неолабиринтом полукружных каналов, — на фоне древней проприоцепторики тропизмов, возглавленной отолитовым аппаратом (палеолабиринтом) и приспособленной к оценке давлений, напряжений и усилий, к ориентировке в поле тяготения и т. п. Во-вторых, все более развивается и приобретает главенствующее положение система телерецепторов, внесшая в эволюцию центральных замыкательных систем и головного мозга в целом

весь тот глубокий качественный переворот, о котором уже говорилось выше и который обуславливался постепенным утверждением примата рецепторов этого класса. В частности, важнейшими сопутствующими структурными обстоятельствами здесь являются: 1) переход от одоневронной таламической схемы центростремительного нервного пути к схеме кортикальной афферентации, состоящей из двух и еще более нейронов, что знаменует собой отнюдь не только появление пары лишних синаптических перерывов на пути сенсорного импульса, а глубокую качественную переработку чувствительных сигналов в промежуточных ганглиозных ядрах; 2) переход от островной системы нервноклеточных сенсорных ядер к двумерно развернутой слоистой системе, характерной для коры полушарий; значение обоих этих переходов для эволюции координационной функции уяснится в дальнейшем; 3) приспособительная эволюция рецепторики совершается по линии формирования все усложняющихся синтетических сенсорных полей, о которых речь будет ниже, в гл. IV и V. Эти сенсорные синтезы, в которых сырые рецепции отдельных органов чувств сливаются вместе с мнестическими компонентами из индивидуального опыта особи в глубоко переработанные и обобщенные направляющие для координированных движений и действий, в свою очередь стимулируют и направляют рост и развитие центральных замыкательных систем в не меньшей мере, нежели это делают телерецепторы. Филогенетическое формирование этого ряда постепенно усложняющихся полей сопряжено с непрерывным ростом удельного веса мнестической слагающей — иначе говоря, индивидуальной памяти¹.

¹ Рост направляющего влияния телерецепторов и ки на эволюцию двигательных функций объясняется еще и тем, что ею были вызваны к жизни сложные интегративные двигательные формы (локомоции и др.), а эти последние потребовали применения сенсорных коррекций (см. гл. II). Таким образом, движения стали volens-nolens опираться на рецепторную, в то время как у древнейших форм, наоборот, рецепции вытекали из движения (ощупывания у червей и гусениц и др.).

В той же слегка схематизированной интерпретации вторая линия развития эффекторики — линия возрастания удельного веса разовых реакций, опирающихся на накопленный и организуемый особым индивидуальным опытом, связана по преимуществу с эволюцией центральных замыкательных систем, имеющих своим субстратом кору больших полушарий. Развитие последней обеспечивает организму и возможность прогрессивного усложнения смысловой структуры его действий, и увеличение его мнестических средств; этим путем центральные замыкательные системы переходят на какой-то из ступеней эволюции из подчиненного положения в положение возглавляющих и направляющих дальнейшее развитие всей нервно-соматической системы в целом.

Ход филогенетического развития строения центральной нервной системы (рис. 1), в отличие от всех прочих органов и систем тела, состоит не только (и даже не столько) в количественном разрастании, сколько в качественном обрешении ее новыми образованиями, не имеющими гомологов в предшествующих этапах филогенеза и по большей части представляющими собой надстройки на один (или больше) нейронный этаж на пути следования нервного процесса. Этот принцип приводит к неминуемой скачкообразности развития центральной нервной системы уже из-за дискретности нейронной схемы: осложнение рефлекторной дуги или вообще любого маршрута нервного импульса внутри центральной нервной системы возможно не иначе, как на целое число новых промежуточных нейронов. Путь, по которому центральная нервная система в своем развитии преодолевает эту скачкообразность, вскрывается эпизодами, подобными, например, ходу развития зрительного аппарата от амфибий до птиц, с переходом его от одоневронной схемы «сетчатка — ядра покрышки» к двухневронной: «сетчатка — наружные коллатеральные тела — зрительная зона коры полушарий». На протяжении какого-то этапа развития оба аппарата, и старый, и новый, действуют рядом, после чего первый

или инволюционирует, как это и случилось с мезэнфалическими центрами зрения, или, чаще, модифицируется так, чтобы образовать вместе со вторым более сложный функциональный синтез. Так было, например, с постепенным развитием эффекторных аппаратов мозга (рис. 2). Таким поряд-

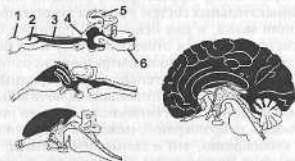


Рис. 1. Продольные разрезы головного мозга позвоночных животных. Слева — мозг акулы, ящерицы, кролика; справа — человека. Темной краской обозначен «новый мозг», светло-серой — «старый мозг», темно-серой — мозговые желудочки. 1 — обрешательные доли; 2 — pallidum; 3 — промежуточный мозг; 4 — зрительный бутор; 5 — мозжечок; и — продолговатый мозг

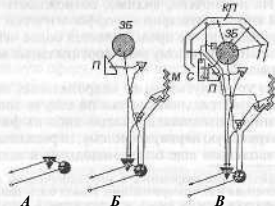


Рис. 2. Схемы постепенного «обращающегося» эффекторных систем мозга. Схематизированы изображены круглыми, эффекторные — угловатыми контурами. А сигнальный уровень, периферия юские сенсорный и моторный с сингаптической связью между ними; Б — таламо-оптический уровень; 3б — зрительный бутор; П — pallidum; М — кора мозжечка; В — появление моторной коры (КП) и пирамидного пути; С — филогенетически новейшее и главенствующее эффекторное ядро striatum экстрапирамидной системы

ком мало-помалу формируется структура из многих совместных работающих невральных этажей.

Необходимо, впрочем, подчеркнуть, что соответственно чрезвычайно общему биологическому принципу постепенной смены ведущих звеньев, проявления которого мы уже видели в чередовании эффекторики, рецелторики и центральных замыкательных систем в роли ведущих определителей эволюции мозга, и сам невронный принцип строения нервной системы родился отнюдь не сразу и не был изначально спутником эволюции центральной нервной системы. Нервные системы у *praevertebrata* не невронны; и у позвоночных, до высших млекопитающих включительно, вегетативные системы в их постанглионарной части построены гораздо ближе к невропильной, нежели к невронной схеме. Наиболее своеобразно, что и самые центральные нервные системы высших позвоночных работают по отношению к одним отправлениям как построенные по невронному принципу и в то же самое время по отношению к другим классам функций — как самый неоспоримый сплошной, диффузный невропиль. Не исключена, видимо, возможность того, что первый слой коры полушарий и морфологически построен по типу невролия; то же представляется более чем вероятным по отношению к целому ряду кортикальных мелкоклеточных скоплений¹.

Многие из упомянутых выше невральных надстроек, возникших в центральной системе по ходу ее эволюционного обрешения, возглавляли в какой-либо из фаз филогенеза всю центральную нервную систему, переслаиваясь в последующей эволюции еще более молодыми и захватывая

Трудно предвидеть, как разрешится в морфологическом плане спор между невронистами и антиневронистами. Может быть, шансы увидеть синапс под микроскопом не выше, чем вероятность, гуляя по полю, споткнуться о меридиан. Однако уже сейчас бесспорно: 1) что функционально синапсы являются точками нарушения непрерывности между отдельными возбудимыми элементами; 2) что невропильный тип строения существует наряду с невронным в высокоорганизованных нервных системах, будучи столь же тесно связан с палеобразованностями и отправлениями, сколь невронный тип связан с неообразованностями.

20

шими верховное положение образованиями. Здесь должно быть упомянуто еще одно осложнение, обуславливающее, в свою очередь, смещение важнейших отправлений центральной нервной системы и изменение их соотношений, качеств и удельных весов, — это отмечаемая всеми исследователями истории мозга, начиная с Монаков и Есопото, прогрессивная «энцефализация» функций. Под этим термином подразумеваются два факта или, может быть, две стороны явления: 1) прогрессирующая утрата самостоятельности и функциональное обеднение каудальных отрезков центральной нервной системы — спинного мозга и 2) постепенное перемещение «центров» тех или других физиологических функций мозга во все более орально расположенные ядра. Этот неуклонно совершающийся процесс может быть прямым образом связан с обрисованной выше сменой ролей и все более выявляющимся приматом головного мозга. Начиная с какого-то эволюционного момента головные ганглии из положения обслуживающих и интегрирующих приборов при телерецепторах превращаются в доминирующий орган, в дальнейшем суверенно направляющий весь ход последующего развития. Примат центральной нервной системы в переживаемом периоде эволюции и ее определяющее влияние не только на узко-анимальную сферу, но и на вегетатику, трофику, метаболизм, иммунобиологию и т. д. не вызывают сомнений.

Усложнение двигательных задач, неизбежно требующих разрешения со стороны особи, и само по себе совершается отнюдь не плавно и постепенно; наоборот, перемены в образе жизни, зоологическом окружении, экологической обстановке и т. д. приводят к накоплению все больших масс качественно новых координационных проблем с не встречавшимися ранее и не имевшими возможности войти в обиход особыми чертами смысловой структуры, двигательного состава, потребного сенсорного контроля и т. д. В течение какого-то времени животные справляются с этими необычными задачами при помощи своих наличных ресурсов; однако рано или поздно противоречие между новыми смысловыми и сен-

зорными качествами нахлынувших задач и неадекватными им координационными средствами животного приводит путем отбора к преобладанию особей, способных справиться с этими новыми качествами и этим сразу, скачком, получить в свое распоряжение целый новый класс движений, однородных по своему типу и уровню сложности и сходных между собой по качествам потребного сенсорного контроля. Если бы эволюционное развитие совершалось по Ламарку, в порядке постепенного упражнения рабочих органов, то можно было бы, пожалуй, ожидать каких-либо гипертрофических, количественных, постепенно образующихся приспособительных изменений мозга. Но, осуществляясь по принципу отбора, развитие центральной нервной системы в ответ на новые классы двигательных задач не может протекать иначе, как в виде накапливающегося преобладания индивидуумов с качественно отличным, мутировавшим в каких-то отношениях мозгом. Возникновение в филогенезе очередной *новой мозговой надстройки* знаменует собой биологический отклик на новое качество или *класс двигательных задач*. Как будет показано ниже, это обязательно означает в то же время появление *нового синтетического сенсорного поля*, а тем самым и появление возможности реализации *нового класса* или *контингента движений*, качественно иначе строящихся и иначе управляемых, нежели те, которые были доступны виду до этих пор. Мы обозначаем всю перечисленную совокупность морфологических и функциональных сторон, характерных для такого нового класса движений, как очередной уровень построения движений и двигательных координации.

Сказанное выше о линиях усложнения двигательных задач, возникающих перед организмом, позволяет оценить и те направления, по которым совершалось поочередное развитие возникавших один за другим координационных уровней построения.

Более новые в филогенезе, они же и более высокие, уровни становятся:

- 1) все более тесно связанными с телерецепторикой и надстроенными над ней обобщающими системами в коре головного мозга;
- 2) все более экстенпоральными, т. е. пригодными для осуществления разовых координационных решений и пластических переклещиваний;
- 3) все более синтетичными, т. е. опирающимися на сложные психологически организованные синтетические сенсорные поля; наконец,
- 4) все более богатыми мнестическими элементами, накопленными из индивидуального опыта. В этих же направлениях изменяются и облики тех движений и действий, которые ведутся на соответствующих уровнях.

Каждый новый уровень приносит с собой комплект новых движений, какие раньше были организму недоступны. Следует сразу отвергнуть как неверное, старое представление, будто филогенетически более молодые надстройки обеспечивают в основном новые качества координации и, следовательно, будто каждый из разновозрастных мозговых морфологических этажей равнозначен какой-то одной стороне координационной отделки *любого* целостного движения. Каждый новый морфологический этаж мозга, каждый очередной функциональный уровень построения содержит и приносит с собой *не новые качества движений, а новые полноценные движения*. В нервной системе высокоразвитого позвоночного содержащимся в ней *N* структурным этажам и доступным для нее *N* уровням соответствует не *N* групп качеств движения, а *JV* особых списков или контингентов движений, вполне законченных и биологически пригодных для решения определенных, посильных для них задач. Было бы очень трудно понять, какой биологический смысл и какое оправдание своего существования могли бы иметь движения-недоноски, лишенные в течение долгих веков филогенетической эволюции какой-либо существенной группы координационных качеств или, наоборот, представляющие собой наборы второстепенных, вспомогательных качеств без самого главного смыслового определителя — фон без фигу-

ры. В истории развития каждый из уровней построения, констатируемых у человека, был на каком-то этапе наивысшим (разумеется, с известными поправками в отношении эволюции контингентов — см. гл. III) и определял собой «потолок» координационных возможностей организма, обрывавший сверху список доступных ему в ту пору движений; но на каждом подобном этапе эти движения были вполне закруглены и координационно оформлены в меру тех скромных двигательных задач, какие им предстояло разрешать.

Всего ярче подкрепляется это положение о *контингентности движений каждого очередного уровня* клиническими фактами выпадений движений при четко локализованных очагах или четко системных поражениях в центральной нервной системе. В этих случаях как общий закон (уже подчеркнутый клинической невропатологией) выпадают не качества всяких движений, а целые списки или классы движений или их фоновых компонент. Что особенно поражает наблюдателя в подобных случаях — это четкая избирательность выпадений и полная интактность других движений, иногда очень похожих по своему облику на выпавшие, но резко отличающихся от них своей смысловой стороной. Один больной не может поднять руку по приказанию «подними руку», но без затруднения поднимает ее по заданию «сними фуражку»; другой лишен непроизвольной мимики настолько, что производит впечатление страдающего полным парезом всей лицевой мускулатуры и в то же время легко и точно выполняет любые произвольные движения губ, носа, век, лба и т. д. в порядке намеренного подражания или по словесному заданию; третий больной (гемиплегик) не способен к произвольным движениям в плечевом суставе парализованной руки, не может, особенно в полусне, в полунаркозе или в аффекте, выполнять те же движения как компоненты синергических непроизвольных актов; четвертый пациент не может по заданию начертить на бумаге кружок или косой крестик, но без всякого труда изображает на ней буквы «О» и «Х»; пятый не может ступить ни одного шага по гладкому полу, а разметка последнего равноотстоящими поперечными полосками, как

по волшебству, возвращает ему все возможности ходьбы и т. д. Таких примеров бесконечно много, и они чрезвычайно разнообразны. В этих случаях часто достаточно умело переключить выпавшее движение на другой, уцелевший уровень, изменив с этой целью формулировку двигательного задания, чтобы разом достигнуть едва ли не полной реституции.

Упомянутый выше принцип морфогенеза центральной нервной системы по типу обростания приводит к тому, что центральная нервная система высокоразвитого позвоночного, например антропоида или человека, представляет собой своего рода геологический разрез, отображающий в сосуществовании всю историю развития нервных систем, начиная от диффузных невропилей низших беспозвоночных и простейших спинальных рефлекторных дуг первобытных хордовых. Все это воспроизведено в такой высокоорганизованной нервной системе, в ее последовательных наслоениях, этажах и надстройках с не меньшей точностью, чем, например, индивидуальная история дерева — в его древесных кольцах.

На фоне этого факта представляется очень интересным и многозначительным, что координационные контингенты движений человека образуют точно такого же рода симультанную рекапитуляцию всей истории животных движений, начиная от таких прадвижений, как перистальтикоподобные движения кольчатого червя или глотательно-рвотные движения голотурии. Такая рекапитуляция обнаруживает при этом неоспоримые преимущества перед невроморфологией, поскольку воспроизводит филогенез не в статике и не в символике гистологических обликов нервных ядер, ничего не сообщающих нам о своей функциональной сущности, а в динамике, в самих движениях, доступных точным сравнениям как по своему содержанию и смыслу, так и по своему оформлению, с движениями современных нам представителей всех ступеней филогенетической лестницы. У самого дна глубокой шахты, опускаемой нами в толщу двигательных координации человека, мы находим древнейшие палеокинетические координации, отошедшие у высших позвоночных в удел вегетативным отправлениям: перистальтические дви-

жения кишечника, стрикционно-дилатационные движения в сосудистой системе, сфинктерах желудка, желчного пузыря, прямой кишки и т. д. Поднимаясь выше, мы встречаемся с первичными, самыми элементарными и по структуре, и по определяющей их афферентации неокинетическими координациями - спинальными рефлексам, подробно изученными школой Sherrington. Еще выше мы вступаем в область движений с более сложной биологической мотивировкой и с афферентацией, синтетически включающей как телерецепции, так и индивидуальные мнестические компоненты, — в область подлинной психофизиологии. Еще более кверху, еще в большей и более невозможной мере зависящие от деятельности коры полушарий залегают самые молодые в филогенезе специфически человеческие координации, мотивы к возникновению которых уже никак нельзя свести к чисто биологической причинности: в первую очередь координации речи, письма и предметных, трудовых действий с их социально-психологической обусловленностью. Каждое из этих последовательных наслоений связано с очередным новым морфологическим субстратом, и каждое, как будет показано ниже, не отрицает ниже лежащих, более древних координационных напластований, но сливается с ними в очень своеобразный и многообразный синтез.

В последующих главах, начиная с третьей, будут даны общие характеристики этих последовательно формировавшихся и образовавших иерархическую систему уровней построения; попутно будут охарактеризованы важнейшие общие факты, относящиеся к теории координационной функции.

Предварительно, однако, должны быть сделаны некоторые общие разъяснения.

Глава вторая О построении движений

Двигательная система позвоночных включает в себя:

- а) пассивную часть — жесткий сочлененный скелет и б) ак-

тивную часть — поперечнополосатую мускулатуру со всем ее оснащением. Пассивный двигательный аппарат составляется из костных звеньев, располагающихся преимущественно вдоль оси органов (аксиально), а потому не обеспечивающих устойчивости системы без постоянного активного участия мускулатуры¹. Эти звенья подвижно сочленены между собой, образуя так называемые *кинематические цепи*. Мышечные массивы, анатомическое членение которых на отдельные мускулы имеет по большей части чисто морфологическое основание, без существенной значимости для биодинамики, облекают эти аксиальные кинематические цепи снаружи, повинувшись в своем размещении также преимущественно причинам чисто морфогенетического порядка, поскольку (эта теорема очень легко доказывается) биодинамическое и решающее значение имеет расположение и направление концевых отрезков *мышечных сухожилий*, в то время как расположение *мышечных брюшков* не имеет никакого. В дальнейшем под скелетными кинематическими цепями будут подразумеваться не одни только кости с их суставами, а подвижные органы, взятые в целом.

Мера взаимной подвижности двух звеньев кинематической цепи определяется в механике числом так называемых *степеней свободы подвижности и деформируемости*. Каждая

¹ Неокинетические двигательные системы (см. гл. III) имеют место в филогенезе у членистоногих и позвоночных. У обоих этих классов животных они принесли с собой быструю и мощную подвижность, резко отличающую их от более древних, мягкотелых классов. Но задача устойчивости (статокинетическая проблема) решена у членистоногих и позвоночных принципиально по-разному. У первых скелеты звеньев облекают их снаружи, как панцири, не требуя мышечной активности для поддержания устойчивой позы. Это доказывается уже тем, что осторожное убитое насекомое (наркотизированное) не падает, как позвоночное. В связи с этим мышечная ткань членистоногих не несет статической нагрузки; она бедна саркоплазмой, грубо исчерчена и т. д. Жесткие скелеты являются необходимым оборудованием для передачи динамических усилий быстрой и мощной поперечнополосатой мускулатуры. Почти единственное исключение представляет только бесклетчатая поперечнополосатая мышца *сердца*, для которой заменю жесткого внешнего скелета служит гидродинамическое сопротивление,

встречаемое ею в *несжимаемой жидкости крови*.

степень свободы подвижности более или менее точно совпадает с отдельным, независимым направлением подвижности в том или другом суставе. Одноосные, например блоковидные, суставы обладают одной степенью; яйцевидные и седловидные суставы (соответствующие примеры: лучезапястный сустав и запястно-пястный сустав большого пальца руки) имеют по две, шаровидные суставы — по три степени свободы подвижности. Степени свободы подвижности характеризуют собой не размах или количественную меру подвижности (например, сгибаемости на большее или меньшее число градусов в сочленении), а качественную меру многообразия направлений и форм этой подвижности, которое может в некоторых случаях оказаться очень большим и при умеренных количественных амплитудах. Примерами могут служить: подвижность локтевой кости относительно плечевой, имеющая одну степень свободы, и деформируемость грудного отдела позвоночного столба, теоретически насчитывающая их 66.

Число степеней свободы взаимной подвижности звеньев кинематической цепи (или, иными словами, свободы деформируемости кинематической цепи) есть не что иное, как необходимое и достаточное число *независимых друг от друга координат*, которые должны быть назначены для того, чтобы поза органа оказалась вполне определенной. Так, например, для определения положения плеча относительно лопатки (при наличии удопаточно-плечевого сочленения трех степеней свободы) необходимо и достаточно назначить три координаты (например, координаты сгибания — разгибания, приведения — отведения, продольной ротации). Очень важно отметить, что количество степеней свободы пели не зависит от выбора той или иной системы координат или обозначений, т. е. является объективно присущим самой цепи. Заметим еще, что число степеней свободы деформации многозвенной цепи либо равно сумме чисел степеней свободы всех ее сочленений (так называемые незамкнутые цепи), либо несколько меньше ее (замкнутые цепи).

Подвижности кинематических цепей человеческого тела огромны и исчисляются девятками степеней свободы. Подвижность запястья относительно лопатки и подвижность предплосны относительно таза насчитывают по 7 степеней, кончика пальца относительно грудной клетки — 16 степеней. Обладание подвижными пальцами обогащает подвижность и деформируемость руки по сравнению с передней конечностью, например, однокопытных четвероногих на 22 добавочных степени. Для сравнения укажем, что преобладающее большинство машин, работающих без непрерывного управления человеком, обладает при всей кажущейся сложности рычажных и шестеренных кинематических цепей *всего одной степенью свободы*, т. е. тем, что носит название *вынужденного движения*: например, многоцилиндровый дизель или газотопечная ротационная машина. Две степени встречаются редко (например, центробежные регуляторы), три степени совершенно неупотребительны — настолько бурно возрастает сложность управления кинематическими цепями с прибавлением новых степеней свободы. Теоретически шесть степенями свободы обладает летящий снаряд (пушечное ядро, пуля, мина) — предмет изучения внешней баллистики. Здесь необходимо отметить: а) очень большую неточность управления его полетом и попаданием и б) необходимость пристрелки и корректировки, к чему мы еще вернемся ниже.

Указанное первое резкое отличие кинематических цепей живого тела от искусственных машин должно быть *самым выразительным образом подчеркнуто*.

Отсутствие в искусственных машинах кинематических цепей с многими степенями свободы объясняется чрезвычайно большими трудностями управления движениями таких цепей. Самая основная из них состоит вот в чем. Одна степень свободы характеризует при любой сложности и многозвенности кинематической цепи так называемый *вынужденный тип движения*. Это значит, что в подобной системе каждая из ее подвижных точек неотрывно привязана к одной

определенной траектории. Эта траектория может обладать любой формой, простой или сложной; точка имеет возможность двигаться по ней вперед или назад, быстрее или медленнее и т. д., но сам по себе путь движения для нее предreshен. Появление у системы еще хотя бы одной степени свободы сверх первой означает переход от одной траектории для каждой точки не к нескольким или даже многим, а к целому участку некоторой поверхности, по которой точка с двумя степенями свободы получает возможность двигаться абсолютно любым образом по бесчисленному множеству равнодоступных траекторий. Так, например, кончик пера, пока он не отрывается от поверхности бумаги, обладает двумя степенями свободы; при этом, очевидно, разнообразие доступных ему траекторий совпадает с разнообразием всего того, что когда-либо могло быть или было написано и нарисовано пером на листе бумаги.

Таким образом, переход от одной степени свободы, т. е. от вынужденного типа подвижности, к двум или нескольким степеням знаменует собой возникновение необходимости выбора или *трассирования* траектории движения. Живой организм всегда имеет возможность *обосновать* свой выбор и планировку той или другой траектории; для машины же необходимо в подобном случае предусмотреть специальное устройство, способное целесообразно обеспечить такого рода выбор, иначе движение будет обречено на хаотичность. Примером устройства указанного характера может служить автоматический жиро-пилот. Подвижность судна (рассматриваемого как материальная точка) на поверхности моря имеет как раз две степени свободы; жиро-пилот обеспечивает выбор среди бесконечного количества равновозможных для корабля траекторий той из них, которая отвечает заданному компасному курсу.

Следовательно, как вытекает из всего рассмотренного выше, между одной и несколькими степенями свободы имеет место очень важный принципиальный качественный скачок. Крайняя редкость в технике вынужденных подвиж-

30

ных систем объясняется прежде всего именно трудностями устройств для *автоматического непрерывного целесообразного выбора*. Кроме того, при многих степенях свободы у системы суммируются, конечно, и погрешности, приносимые каждой из степеней свободы; при большом количестве последних суммарная ошибка сможет вырасти до такой величины; которая покроет все преимуществ, в принципе создаваемые богатством разнообразием подвижности сложной цепи. Например, если каждая из степеней свободы руки и пальца пианиста, сидящего за инструментом, даст погрешность всего в Г, то, суммируясь, эти погрешности смогут дать отклонение кончика пальца на 5—6 см (хотя по отдельным звеньям, например, пальцевых фаланг, составляющие погрешности не превысят при этом 0,05 см), т. е. вызовут промахивание на терцию или кварту. Необходимо еще принять в расчет неизбежную кумуляцию погрешностей во времени, не устранимую никакой феноменальной точностью первоначальной пригонки движущихся частей, к тому же в кинематических цепях живого тела позвоночничка заведомо не очень высокой.

Еще более существенное значение имеют осложнения *динамические*. В сложной кинематической цепи, каждое звено которой обладает известной тяжелой и инертной массой, всякая сила, возникающая в одном из звеньев, тотчас же вызывает целую систему *реактивных* или отраженных сил, передающихся на все остальные звенья. Это взаимное влияние звеньев цепи друг на друга во всех мыслимых сочетаниях создает в общей совокупности огромное количество силовых взаимодействий, совершенно необозримое математически и представляющее непреодолимые трудности для аналитического решения. Эти реактивные силы наслаиваются на те силы, которые находятся в распоряжении организма для управления движениями системы, и на внешние силы, подвластные ему всегда лишь в большей или меньшей степени, и делают общую динамическую картину движения цепи чрезвычайно осложненной, а главное — практически *непредусмотримой* из-за их крайней механической запутанности.

Сделать движение многозвенной цепи *точным* все-таки возможно, хотя бы в теории, для этого достаточно повысить в неимоверной степени точность пригонки ее частей друг к другу. Сделать такую многозвенную цепь *послушной* невозможно принципиально, потому что никакая теория не в состоянии управиться с бурно возрастающим изобилием и сложностью реактивных сил и взаимодействий между звеньями цепи. Для такой системы, как, например, рука, удается определить математически лишь самый начальный момент ее движения под действием той или иной мышцы. Установить, как потечет движение дальше, оказывается уже неразрешимой задачей.

Для того чтобы *статически* зафиксировать позу сложной кинематической цепи, необходимо закрепить каждую из имеющихся у нее степеней свободы независимыми друг от друга связями, по одной на каждую степень. Роль этих связей в организме позвоночного большей частью исполняют мышцы, реже и в известном проценте — внешние силы. Совершенно аналогичное положение создается и в динамике.

Как бы сложна ни была кинематическая цепь, ее движение всякий раз оказывается хотя и не предусмотримым заранее, но, очевидно, совершенно определенным и потенциально доступным сколь угодно точно динамическому анализу *post factum*. Следовательно, при как угодно обусловленном движении любой кинематической цепи равнодействующие всех приложенных к ней сил и моментов фактически свяжут все степени свободы ее элементов, кроме одной для каждого, — той, по которой в действительности совершилось подвергшееся наблюдению движение. Таким образом, если, кроме статических сил, принять в расчет и все динамические, то можно трактовать любое движение каждой угодно цепи как *динамически вынужденное*, причем место недостающих связей для закрепления избыточных степеней свободы занимают динамические силы, внутренние и внешние. От этого, однако, не получается много проку. Спора нет, что совокупность всех действующих сил, и внутренних, и реактив-

ных, и внешних, свяжет все избыточные степени свободы звеньев и поведет эти последние по каким-то вполне определенным траекториям, но только траектории эти имеют все основания оказаться не теми, которые нам нужны.

Очевидно, мы вправе назвать кинематическую цепь *управляемой* только в том случае, если мы в состоянии *назначить* определенные, желательные для нас траектории (и скорости) движения для каждого из элементов цепи и *заставить* эти элементы двигаться по назначенным им путям. А для этого нужно, чтобы мы всегда располагали реальными средствами для связывания избыточных степеней свободы такой цепи, т. е. так или иначе имели в повиновении всю совокупность тех сил, которые возникают и разыгрываются при движении цепи. *В этом преодолении избыточных степеней свободы движущегося органа, т. е. в превращении последнего в управляемую систему, как раз и заключается основная задача координации движений.*

Трудность, зависящая от того, что у организма всякий раз оказывается в повиновении только небольшая часть всех тех сил, равнодействующие которых обуславливают движения цепи, сама по себе уже очень велика, особенно если принять во внимание ту щедрость, с какой организм наделяет свои кинематические цепи степенями свободы. Уже одна эта «беззаботность» к количеству степеней свободы должна бы подсказать, что свойственный ему принцип управления в корне отличается от знакомых нам в настоящее время по искусственным сооружениям. И, несмотря на это, в течение долгих десятилетий развития нервной физиологии держалось (а в учебниках и до настоящего времени держится) убеждение, что зависимость между мышечным напряжением и движением столь же проста, пряма и однозначна, как, например, зависимость между движениями поршня парового цилиндра и вращениями ведущего колеса. К сожалению, в фактическом материале биодинамики мы имеем множество случаев, когда на всем протяжении кинематической цепи включены *только сгибаемые мышцы*, а при этом все

На самом деле положение еще сложнее, чем это казалось до сих пор. Напряжение, развиваемое мышцей, так или иначе входит составной частью в систему тех сил, которые вызывают перемещения и деформации кинематической цепи. При деформации цепи смещаются и точки прикрепления концов мышцы к костям, т. е. происходит вторичным порядком изменение ее длины в ту или другую сторону¹. Таким образом, изменение напряжения мышцы изменяет ее наличную длину, а это изменение длины вызывает, в свою очередь, изменение напряжения мышцы. Здесь имеет место кольцевая взаимозависимость причин и следствий, выражаемая на языке математики дифференциальными уравнениями второго порядка². Мы обозначаем эту кольцевую зависимость как *периферический цикл взаимодействий*.

Итак, между мышечным напряжением и результирующим движением нет и не может быть однозначной зависимости; здесь имеет место *принципиальная неопределенность*³. В этом факте — второе капитальное различие между механи-

¹ Из этого вывода, как заметит внимательный читатель, следует, что сокращение мышцы есть не причина движения, а его следствие. При всей кажущейся парадоксальности это заключение верно, а действительная последовательность причин и следствий здесь такова: 1) изменение напряжения мышцы, 2) смещение костей с находящимися на них точками прикрепления концов мышцы, 3) изменение длины мышцы. Точно так же, например, расширение пара в паровом цилиндре есть не причина, а следствие движения поршня, в то время как причиной этого движения является давление пара.

² Указанная кольцевая взаимосвязь еще несколько осложняется тем обстоятельством, что при движениях в сочленении изменяется угол между осями мышцы и осями соединенных с ней костных звеньев, т. е. изменяется плечо рычага, входящее множителем в выражение вращающего силового момента мышцы. Вследствие этого уравнение, которое должно выражать зависимость между мышечным силовым моментом и движением, становится более сложным, и его уже не удастся представить в виде простого дифференциального уравнения второго порядка, который оно имело бы без указанного добавочного осложнения.

³ *Неопределенность не означает неопределимости*. Последнее выражение обозначало бы отрицание причинности; первое выражение выражает лишь *отсутствие однозначности* (сравнить, например, термин «неопределенные уравнения»).

кой живого организма позвоночного и механикой искусственных сооружений.

Могло бы показаться, что система звеньев, соединенная не одной упругой связью, как в рассмотренном выше случае, а двумя связями-антагонистами (рис. 4, 5), свободна от указанной неопределенности. На самом деле отличие здесь только кажущееся. Систему с двумя упругими антагонистами можно точно так же привести в любое угловое положение соответственным подбором внешних сил, как бы в данный момент ни вели себя упругие связи системы. При *заданных неизменных внешних силах* организм может, правда, так подобрать соотношения напряжений в обоих антагонистах, чтобы обеспечить любой желаемый угол в шарнире; но достаточно внешним силам перемениться, чтобы для того же самого угла потребовались уже совершенно другие соотношения напряжений. Атак как и в этом примере внешние силы никак не зависят от центральной нервной системы, то положение о принципиальной неопределенности остается в полной силе.

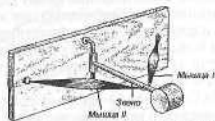


Рис. 4. Подвижное звено, управляемое в его движении двумя мышцами-антагонистами

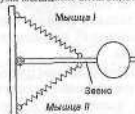


Рис. 5. Схема-план системы, изображенной на предыдущем рисунке. Подробности см. в тексте

Следует еще заметить, что для данной мышцы внешними силами являются, по сути дела, не только силы строго внешнего, как, например, сила тяжести, сила нападающего противника и т. п., но и силы мышц других, удаленных суставных систем самого организма в их прямом и реактивном действии. Если строго внешние силы вообще невозможно предугадать, кроме немногих исключений, то этот второй вид сил, так сказать, условно внешние силы, организм в принципе мог бы предугадать и скоординировать заранее, так как от него самого зависит послать в определенную мышечно-суставную группу те или другие импульсы. Но достаточно вспомнить сказанное выше о не поддающейся никакому анализу сложности реактивных взаимодействий в многозвенных цепях, чтобы понять, что практически предугадать эти реактивные силы и то, как они скажутся на движении какой-либо удаленной подвижной части тела, все равно невозможно. Если для сообщения данному суставу того или другого углового положения или угловой скорости недостаточно создать определенное соотношение между упругостями двух его мышц-антагонистов, а необходимо еще в широких пределах изменять и дозировать это соотношение в зависимости от того, каковы позы, нагрузки и ускорения во всех окружающих суставах, то это значит, что между состоянием мышц данного сустава и его движением *нет постоянной однозначной зависимости*. Следовательно, и по отношению к реактивным силам справедливо все сказанное выше о силах внешних. Более того, поскольку реактивные силы в многозвенных цепях почти всегда и сложнее, и изменчивее, чем силы чисто внешние, постольку искажающее и осложняющее влияние первых на динамику движения значительно больше, чем влияние вторых.

Ниже будет рассмотрено, каким путем центральная нервная система выходит из перечисленных трудностей координирования движений. Здесь необходимо только указать, что осложнения, вносимые вмешательством внешних реактивных и инерционных сил и фактом неоднозначности связи

между мышечным возбуждением, напряжением и движением, гораздо более часты и значительны, чем это обычно думают. Весь длительный опыт нашей экспериментальной работы над движениями человека показал, что случаи, когда при данном движении фактически напрягаются совсем другие мышцы, в другое время и другим образом, чем это ожидалось бы по элементарному анатомическому анализу, гораздо более часты, чем те, когда поведение мышц до конца понятно и классично. Есть много элементов движений, в которых пока вообще не удается доискаться объяснения поведения каждой мышечной группы; в иных случаях анализ внешней и реактивной динамики доступен и ясно обнаруживает логику этих неожиданных для первого взгляда мышечных действий, но эта логика далеко отличается от элементарной логики учебников.

Рассмотрим несколько примеров.

1. Эффект действия инерционных сил

При рубке зубилом около половины всего движения замахи, (рис. 6) совершается при активном напряжении всех мышц, тяну-

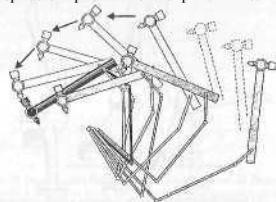


Рис. 6. Последовательные положения руки и молотка при рубке зубилом. Наверху — замахи, внизу — удар. Четыре позы, соединенные стрелками, — фазы замахов движения, во время которых усилие направляется вперед (работа автогра, 1923 г.)

щих руку *вниз и вперед*, хотя движение направлено в это время *вверх и назад*. Это объясняется тем, что рука с молотком, обладающая в

сумме значительным моментом инерции и получившая в первой половине замаха довольно большую инерцию движения назад за счет сил отдачи и мышечной активности, должна быть остановлена и при этом деформирована, натягивая разгибательные мышцы так, как это требуется для нанесения удара. Пример движений, совершающихся против направления действия мышц, можно встретить во всевозможных ритмических движениях (ходьба, бег, игра на фортепиано и т. п.). Этот случай прост для анализа, так как указанная противоположность выдает себя замедляющимся характером движения.

II. Эффект действия внешней силы тяжести

Окончание гимнастического движения выхода в стой на кистях (рис. 7) состоит в медленном поднимании всего тела вверх посредством постепенного распрямления локтевых суставов. Вследствие своей медленности движение никак не осложнено инерционными или реактивными силами. Тем не менее оказывается, что разгибание локтей на угол 90° настолько сильное, что оно поднимает вверх весь корпус, совершается не разгибателями локтя, почти бездействующими, а мышцами, дающими *переднюю флексию плечевого сочленения* (m. deltoideus, m. pectoralis major, m. serratus anterior).

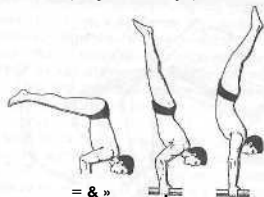


Рис. 7. Три последовательные фазы по одному в стой на кистях. Движение разгибания локтей совершается за счет работы мышц переднего плечевого сочленения (работа М. Украина, ЦПОЛИФК — лаборатория изучения движений ЦНИИФК)

Объяснения этого своеобразного случая работы сильно нагруженного сустава против нагрузки целиком за счет не проходящих через него мышц довольно просто. Из рис. 7 видно, что на протя-

жении описываемого движения общий центр тяжести тела находится в одной вертикальной плоскости с обеими точками опоры — кистями (иначе при медленном движении гимнаст утратил бы равновесие), с осями предплечий и обоими локтевыми суставами. Момент силы тяжести относительно этих суставов близок к нулю, а следовательно, по правилу равенства действия и противодействия близки к нулю и моменты локтевой мускулатуры. Напряжение разгибателей локтя при позах рис. 7 привело бы не к полному телу, а к опрокидыванию его против часовой стрелки.

Из всех сочленений руки момент силы тяжести велик только для плечевых суставов; их-то мускулатура и работает, увеличивая угол между плечами и туловищем и этим поднимая тело гимнаста.

III. Эффект действия реактивных и инерционных сил

Этот пример сложнее предыдущих. При беге, вскоре после отрыва маховой ноги от опоры, начинается интенсивное, *ускоренное сгибание ее колена* (рис. 8) с большой угловой скоростью, достигаю-



Рис. 8. Одна из фаз бега мирового рекордсмена Ж. Лядумета. Фаза, в которой у мастеров бега, как правило, убыстряющееся сгибание колена задней ноги и протекает при непрерывном перевесе разгибательных напряжений в коленной мускулатуре (работа автора, ЦНИИФК, 1936—1939 гг.; фото автора перерисовано в схему. — Прим. ред.)

щей у спринтеров 3,6—3,7 об/с, — скоростью вращения колес паровоза экспресса на полном ходу. Это движение, подтягивающее пятку к самой ягодице за 0,15—0,10 с, совершается почти на всем протяжении при значительном перевесе напряжения *разгибателей*

колена. В случае бега мирового рекордсмена Лядумегэ это сгибание при общей длительности 0,273 с в течение первых 0,198 с совершается ускоренно и лишь в течение остальных 0,075 с — замедленно, причем как раз в конце этого последнего интервала, когда работа разгибателей находит себе внешнее отражение в замедлении сгибания, наступает на 0,011 с перевес сгибательной мускулатуры.

В самых общих чертах явление это объясняется тем, что отброс стопы кверху от опоры, совершающийся главным образом за счет реактивного эффекта от контралатеральной ноги, настолько силен, что стопу не только не приходится гнать кверху активным сгибанием колена, а, наоборот, приходится притормаживать ее для предохранения от удара ее об ягодицу.

IV. Эффект действия реактивных и инерционных сил

Пример аналогичен предыдущему и также заимствован из исследования автора по бегу. После прохождения маховой ноги мимо опорной (рис. 9) в первой имеет место: а) падение продольной скорости колена, т. е. притормаживание бедра, и б) убыстрение движения стопы вперед, т. е. разгибательное угловое ускорение в коленном сочленении. Сопоставление того, что при этом казалось бы необходимым ожидать от мышц, с тем, что совершается на самом деле, удобнее всего сделать в виде следующей таблицы:

Сочленение	Его поза (см. рис. 9)	Наблюдаемое ускорение движения	Усилие, ожидаемое по «логике»	Усилие, имеющее место в действительности
Тазобедренное	Сильно разогнуто (вперед)	Замедляемое разгибание (подвергается сгибательному ускорению)	Сгибательное (?)	Падение ранее бывшего сгибательного усилия до нуля (Q)
Коленное	Максимально согнуто	Максимум разгибательного ускорения	Разгибательное	Большая сгибательная волна (0)

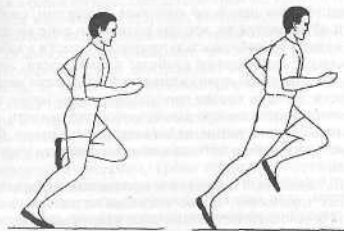


Рис. 9. Фазы бега мирового рекордсмена Ж. Лядумегэ, дающие резкое противоречие между направлениями мышечных усилий и угловых ускорений в сочленениях маховой ноги (работа автора, ЦНИИФК, 1936-1939 гг.; фото автора переведено в схему. — Прим. ред.)

Итак, все происходит как раз наоборот, особенно ярко — в коленном сочленении. В примере I направления ускорения совпадают с направлением мышечных усилий, хотя направление движения и было противоположно последним. В данном примере имеют место противоречия между направлениями мышечных усилий и результирующих ускорений. Это было бы нелепым в динамике материальной точки; в динамике же связанной кинематической системы подобные противоречия могут обуславливаться столкновениями реактивных и инерционных сил. Общее объяснение как описанного случая, так и других подобных ему — в том, что в направлении наблюдаемого фактического ускорения на звено действуют мощные реактивные силы, и собственных мышечных усилий, хотя они и направлены в прямо противоположную сторону, не хватает на то, чтобы полностью погасить реактивную силу, так что она все-таки ускоряет движение звена в своем направлении.

Трудность, создаваемая для планомерной координации фактами неоднозначности в кольцевой зависимости, сама по себе настолько глубока и принципиальна, что на ее фоне ступенькаются обрисованные выше трудности, связанные с

непослушностью цепей со многими степенями свободы. Этим и объясняется то, что мы позволили себе выше образно назвать беззаботностью природы по части избылиа допускаемых ею степеней свободы подвижности: находя путь к преодолению принципиальной трудности неоднозначности, она тем самым полностью решает менее трудную и непринципиальную задачу многостепенности, а тут уже, как мы скоро увидим, действительно вес равно, будет ли перед нами цепь о пяти или семидесяти пяти степенях свободы.

Путь, найденный природой к преодолению охарактеризованных трудностей, прямо подсказывается тем фактом двоякой обусловленности мышечных напряжений, который мы выше интерпретировали посредством семейств кривых (см. рис. 3). Раз при данном физиологическом состоянии мышцы напряжение ее зависит от ее наличной длины (мы пока отвлекаемся от осложняющего влияния мышечной вязкости, которое принципиально не меняет дела), значит, центральная нервная система будет реально в состоянии придать мышце то или иное требующееся напряжение в том и только в том случае, если она будет в курсе этой наличной длины мышцы и всех претерпеваемых ею изменений. Решение вопроса о неоднозначности лежит в использовании для регулирования эффекторного процесса *сензорных сигналов* о позе кинематической цепи и о мере растяжения каждой из влияющих на ее движения мышц. Далее уже легко представить себе, что при наличии такого непрерывно текущего потока сигналов с периферии центральной нервной системе в принципе нетрудно справиться с любой расточительностью по части степеней свободы подвижности. Действительно, как только орган, находящийся под действием внешних и реактивных сил, плюс еще какая-то добавка внутренних мышечных сил отклонится в своем результирующем движении от того, что входит в намерения центральной нервной системы, эта последняя получит исчерпывающую сигнализацию об этом отклонении, достаточную для того, чтобы внести в

эффекторный процесс соответственные адекватные поправки. Весь изложенный принцип координирования заслуживает поэтому названия *принципа сензорных коррекций*^{*}.

Сказанное вполне объясняет, почему расстройства в эффекторных аппаратах центральной нервной системы, как правило, не влекут за собой чистых нарушений координации, давая только синдромы параличей, парезов, контрактур и т. п., и почему обязательно неполадки в *афферентных* системах вызывают нарушения движений атактического типа, т. е. расстройства координации. Ниже будет показано, что афферентным системам, кроме вторично-коррекционной, принадлежит еще очень важная для двигательного процесса инициативная, установочная и пусковая роль; поэтому не удивительно, что в результате чисто афферентационных нарушений нередко возникают, кроме дискоординаций, даже и расстройства с четким обликом параличей, парезов и т. п., с хорошим восстановлением движений после каких-либо विकарных возмещений утраченной афферентации.

Все известные в клинике формы органических расстройств координации всегда связаны с заболеваниями *рецепторных* аппаратов и их проводящих путей: вестибулярных аппаратов (лабиринтная или вестибулярная атаксия), рецепторных систем мозжечка (церебеллярная атаксия), задних столбов спинного мозга, проводящих проприоцептивную и тактильную импульсацию (табетическая атаксия), и т. д. Экспериментально у животных перерезка двигательных (передних) корешков одной из конечностей ведет к параличу этой конечности, тогда как перерезка задних корешков (деафферентация) приводит к резким нарушениям координации. У лягушки деафферентация задней лапки может не дать заметных на глаз признаков расстройства координации; но достаточно парализовать или ампутировать унilaterальную переднюю конечность, чтобы последовало немедленное рез-

^{*} В моторике животных — носителей гладкой мускулатуры — принцип сензорных коррекций не играет ощутимой роли, что очень характерным образом отражается в их движениях: а) преимущественно метамерных и б) хаотически ошупывающих.

кое нарушение координации в ранее деафферентированной задней лапке. Очевидно, наличие нормальной подвижности в передней лапке создает какую-то обходную (коллатеральную) компенсацию для обесчувствленной задней, и на этой компенсации, как на ниточке, кое-как держится координация задней лапки. Но достаточно перерезать и эту ниточку, никак не трогая задней конечности, чтобы дискоординация обнаружилась в ней в полной мере.

И у человека возможны компенсации, способные преодолеть в той или иной мере органическую атаксию; и всегда они осуществляются путем включения в двигательный процесс нового вида чувствительности. Известно, как резко ухудшаются движения табетика при закрытии глаз, т. е. в какой большой мере используется им для компенсации зрение. Восстановление в той или иной мере походки у тех же табетиков хорошо удавалось иногда при помощи бандажей, производивших перемнное давление на кожу живота при движениях бедер, вызывая этим компенсационные осязательные ощущения.

Как будет показано ниже, *все виды афферентации организмов* принимают в разных случаях и в разной мере участие в осуществлении сенсорных коррекций. Иными словами: каждому виду и качеству чувствительности доводится в очередь с ее основной экстероцептивной (иногда и энтероцептивной) работой выполнять функции наблюдения за движениями собственного тела и сигнализировать о них в центральную нервную систему в порядке выполнения сенсорных коррекций. Используя и далее терминологию Sherrington, мы назовем всю совокупность рецепторных отправлений этого рода *проприоцепторикой в широком, или функциональном, смысле*. Однако сам основной факт, в первую очередь требующий подобного корригирования, — факт зависимости мышечного напряжения от длины мышц — говорит о том, что самое первоочередное и непосредственное участие в реализации этих коррекций *принимает проприоцептивная система в узком смысле слова* — система сенсорных сигналов о позах, со-

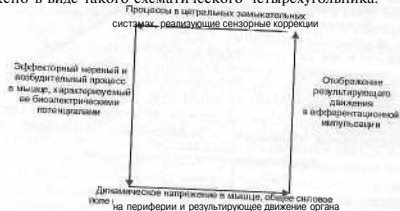
членовных угловых скоростях, мышечных растяжениях и напряжениях. Мышца, вызывая своей деятельностью изменение в движении кинематической цепи, раздражает при этом чувствительные окончания проприоцепторов *sensu stricto* («*периферийное замыкание*»), а эти проприоцептивные сигналы, замыкаясь в центральной нервной системе на эффекторные пути, вносят изменения в эффекторный поток, т. е. в физиологическое состояние мышцы («*центральное замыкание*»). Перед нами, таким образом, не рефлекторная дуга, а другая форма взаимоотношений между афферентным и эффекторным процессом, характеристическая для всех координационных процессов. — *рефлекторное кольцо* (рис. 10).



Рис. 10. Схема ироприоцептивного рефлекторного кольца

Таким образом, здесь снова вскрывается картина кругового взаимодействия, очень напоминающая ту, которая была описана выше, при анализе взаимоотношений между мышечным напряжением и движением, только развертывающаяся в другом плане, уже не чисто биомеханический, а через посредство центральной нервной системы. И этот случай взаимодействия мог бы быть теоретически представлен в форме дифференциального уравнения, хотя мы пока еще далеки от возможности реально построить его.

Рефлекторное кольцо, представляющее собой фундаментальную форму протекания двигательного нервного процесса, может быть с наибольшей степенью наглядности изображено в виде такого схематического четырехугольника:



Итак, и это очень важно с самого начала подчеркнуть и отметить, координация есть не какая-то особая точность или тонкость *эффекторных* нервных импульсов, а особая группа физиологических механизмов, создающих непрерывное *организованное циклическое взаимодействие между рецепторным и эффекторным процессом*. Никакой тончайший анализ не мог бы найти в эффекторном импульсе признаков или элементов «координации»: их там нет. Координация, подготавливает ли она двигательную периферию к принятию эффекторного импульса или оформляет и соразмеряет самый импульс соответственно конкретному учету периферической ситуации, все равно лежит вне эффекторного импульса, в известном смысле — над ним.

Подведем основные итоги. Два решающих обстоятельства: 1) факт избытка *кинематических* степеней свободы, зависящих от строения сочленений, и 2) факт упругой мышечной связи между звеньями подвижных цепей, из которого про-

истекает неопределенная, неоднозначная зависимость между мышечной активностью и движением и который можно рассматривать как эквивалент еще некоторого числа *динамических* степеней свободы, — оба в совокупности делают органы движения *принципиально неуправляемыми системами* для каких бы то ни было качеств или сколь угодно тонких форм *чисто эффекторных* следований импульсов. Силы, обуславливающие фактическое движение каждого звена кинематической цепи, могут быть представлены каждая в виде геометрической суммы трех составляющих: 1) силы, исходящей от активного двигателя системы, — в данном случае от мышцы; по большей части силы этого рода являются внутренними силами; 2) внешних сил (тяжести, сопротивления внешней среды и т. п.) и 3) реактивных сил, количество и разнообразие которых, как уже было сказано, бурно возрастает с увеличением числа степеней свободы. Сензорная коррекция эффекторных импульсов, управляющих мышечной активностью, ведется так, чтобы равнодействующая всех упомянутых участвующих в движении сил, и внутренних, и внешних, и реактивных, вели движущуюся систему из ее исходного состояния в требуемом направлении, с требуемой силой и скоростью. В каждую такую равнодействующую, состоящую из трех динамических «пав» (активного, внешнего, реактивного), эффекторика вносит только один пай. Понятно, что структура этого одного пая из трех тем сильнее отличается от их общей результирующей суммы, чем больше в движении участвуют реактивные и внешние силы и чем экономичнее оно построено в отношении расходования активной мышечной работы. Это-то несоответствие между первой категорией сил — единственной прямо подвластной управлению — и результирующей кинетикой цепи и делает столь трудно управляемыми кинематические цепи со многими кинематическими и динамическими степенями свободы. Сюда прибавляется еще и то, что даже при небольших допусках и конструктивных нестрогостях, всегда возможных и у очень точно выполненных машин, а в живых кинематических цепях

подчас весьма значительных, резко возрастает неодинаковость и непостоянство реактивных сил от раза к разу при повторных циклах одинаковых движений. Это обстоятельство, делает реактивные силовые наложения помимо их сложности еще и практически не предусмотримыми,

С другой стороны, неоспоримо (в гл. VIII будет подробно проанализировано на фактическом материале), что движение тем экономичнее, а следовательно, и рациональнее, чем в большей мере организм использует для его выполнения реактивные и внешние силы и чем меньше ему приходится привносить активных мышечных добавок. Но, очевидно, чем меньше эти добавки, тем меньше сходства остается между формой их протекания и той суммарной силовой равнодействующей сил всех трех видов, которая фактически выполняет реализуемое организмом движение. В наиболее совершенных по своей биодинамике движениях (динамически устойчивых, см. гл. IV и VIII) это явление достигает максимума, и сходство между мышечной формулой и движением остается не более значительным, чем, например, сходство между работой вспомогательного судового дизеля, включаемого время от времени, и курсом парусного судна, идущего под сильным попутным ветром. Всем хорошо знакомо искусство парящего полета морских птиц, способных пролетать большие расстояния, почти не работая крыльями, за счет одних только мастерски используемых ими колебаний воздушных течений, — искусство, которому все лучше подражает и человек в своем планерном спорте, но гораздо менее известно то, что и в обыденной моторике ходьбы, бега, трудовых приемов и т. д. соотношения между кривыми мышечной активности и кривыми результирующих усилий и движений мало чем отличаются в принципе от упомянутой кинетики альбатроса.

По этим причинам для перевода с языка пространственно-кинематических представлений, на котором психологически строится первичный проект движения, на язык фактической мышечной динамики требуется довольно сложная

перешифровка, которая вдобавок тем сложнее и прихотливее, чем совершеннее выполняемое движение, т. е. чем лучше выработан двигательный навык. Если к этому прибавить еще, что по причине указанного выше отсутствия однозначности эти шифры к тому же меняются от раза к разу при повторных выполнениях движения, то у нас останется очень немного от тех старых представлений о выработке нового навыка как условной связи, согласно которым такая выработка совершается путем «проторения» в результате серии точно одинаковых повторений. Для дальнейшего следует отметить еще, что в сложных двигательных актах, реализуемых высшими кортикальными системами, сплошь и рядом требуется несколько наложенных одна на другую последовательно совершаемых перешифровок разного механизма и разного смыслового содержания.

Приведем пример, являющийся выразительной иллюстрацией к сказанному.

Для интегрирования дифференциального уравнения второго порядка, т. е. для нахождения одного из бесчисленных возможных для него конкретных решений, необходимо подставить в общее решение по меньшей мере два начальных условия, не зависящих от самого уравнения. В случае уравнения, определяющего движение кинетической системы с упругими связями, такими начальными условиями могут послужить, например, исходные положения и начальные скорости элементов цепи. Это и есть как разданные того порядка явлений, которые сигнализируются в центральную нервную систему проприоцептивными органами по ходу осуществления сенсорных коррекций. Очевидно, если по каким-либо причинам проприоцептивная афферентация (в широком смысле) выключена, то центральная нервная система не будет располагать ни указанными, ни другими эквивалентными им данными для выбора того или другого из возможных решений дифференциального уравнения. Отсюда вместо приспособительно-видоизменяемых следований импульсов, которые посылаются ею в норму и дают при цик-

лических движениях чеканно одинаковые циклы, центральная нервная система будет раз за разом посылать на периферию стереотипные, одинаковые цепочки импульсов, не ведая, с какими ситуациями они там столкнутся. В результате, разумеется, получится картина, как раз обратная только что описанной для нормы: одинаковые серии импульсов приведут к резко непохожим один на другой циклам движения.

Так, действительно, и происходит при характернейшей болезненной форме системного выключения проводящих путей проприоцепторики в спинном мозгу — при *tabes dorsalis*. Приведенные рис. 11 и 12 подтверждают сказанное сопо-

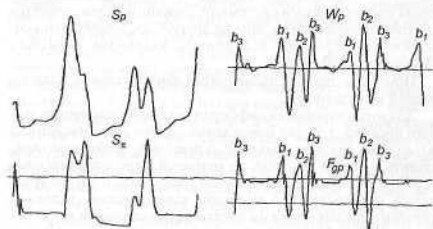


Рис. 11. Слева — кривые, перемещений (по вертикальной слагающей) пятки (р) и носка (п) в двух последовательных шагах табетика. Справа — кривые вертикальных ускорений и пятки (наверху) и вертикальных усилий в центре тяжести стопы (низу) в тех же самых двух шагах. Рисунок ясно, что в основе двух резко различных между собой движений шагов у табетика могут лежать очень сходные между собой циклы ускорений и усилий (работа В. Фарфеля и автора, ВИАМ, 1935 г.)

ставлением двух групп кривых. На рис. 11 (справа) помещены кривые вертикальных ускорений и динамических усилий в центре тяжести стопы тяжелого табетика и рядом (слева) две кривые результирующих перемещений переднего и заднего концов стопы этого же больного в двух соответствующих последовательных шагах. На рис. 12 помещены для

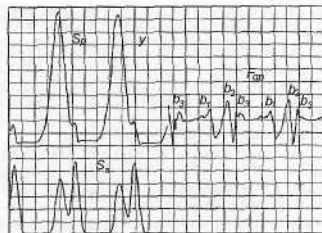


Рис. 12. Слева — кривые перемещений (по вертикальной слагающей) пятки (р)

и носка (п) в двух последовательных шагах здорового человека. Справа — кривые вертикальных ускорений и пятки (наверху) и вертикальных усилий в центре тяжести стопы (низу) в тех же самых двух шагах. Рисунок ясно, что в основе двух резко различных между собой движений шагов у здорового субъекта совершенно неотличимы и последовательных шагах, у больного они дают резко выраженную разницу циклов. За неприятие в расчет данных об имеющих место в очередном шаге начальных условий и за стереотипную одинаковость импульсовых серий, без адекватных перешифровок, организм расплачивается в лучшем случае резкой деавтоматизацией походки, а в худшем — полной потерей устойчивости.

сравнения такие же кривые для случая здоровой, нормальной ходьбы. Из рисунков ясно видно, что вариативность кривой усилий от шага к шагу мало чем отличается у табетика от того, что имеет место и в норме. Но в то время как кривые движений у здорового субъекта совершенно неотличимы и последовательных шагах, у больного они дают резко выраженную разницу циклов. За неприятие в расчет данных об имеющих место в очередном шаге начальных условий и за стереотипную одинаковость импульсовых серий, без адекватных перешифровок, организм расплачивается в лучшем случае резкой деавтоматизацией походки, а в худшем — полной потерей устойчивости.

Итак, в наиболее точном определении координация движений есть преодоление избыточных степеней свободы движущегося органа, иными словами, превращение последнего в управляемую систему. Указанная в определении задача решается по принципу сенсорных коррекций, осуществляемых совместно самыми различными системами афферентации и

протекающих по основной структурной формуле *рефлекторного кольца*.

Состав тех афферентационных ансамблей, которые участвуют в координировании данного движения, в осуществлении требуемых коррекций и в обеспечении адекватных перешифровок для эффекторных импульсов, а также вся совокупность системных взаимоотношений между ними обозначаются нами как *построение данного движения*.

Необходимо подчеркнуть, что хотя все имеющиеся в распоряжении организма виды рецепторных аппаратов принимают участие в осуществлении сенсорных коррекций и выполнении требуемых для этого перешифровок в разных планах и различных уровнях, однако ни в одном случае (кроме, может быть, простейших прарефлексов) эти акты корригирования не реализуются сырыми рецепторными сигналами от отдельных, изолированных по признаку качества афферентационных систем. Наоборот, сенсорные коррекции всегда ведутся уже *целыми синтезами*, все более усложняющимися от низа вверх и строящимися из подвергшихся глубокой интеграционной переработке сенсорных сигналов очень разнообразных качеств. Эти синтезы, или сенсорные поля, и определяют собой то, что мы обозначаем как уровни построения тех или иных движений. *Каждая двигательная задача находит себе в зависимости от своего содержания и смысловой структуры тот или иной уровень, иначе говоря, тот или иной сенсорный синтез, который наиболее адекватен по качеству и составу образующих его афферентаций и по принципу их синтетического объединения требующемуся решению этой задачи.* Этот уровень и определяется как ведущий уровень для данного движения в отношении осуществления важнейших, решающих сенсорных коррекций и выполнения требуемых для этого перешифровок.

Лучше всего понятие о различных *ведущих уровнях построения* уяснится из примерного сопоставления ряда движений, сходных по своему внешнему оформлению, но резко различных между собой по уровневому составу.

Человек может совершить, положим, *круговое движение рукой* в ряде чрезвычайно не сходных между собой ситуаций.

Например. А. При очень быстром фортепианном «вибрато», т. е. при повторении одной и той же ноты или октавы с частотой 6—8 раз в секунду нередко точки кисти и предплечья движутся у выдающихся виртуозов по небольшим кружочкам (или овалам). *В.* Можно описать рукой круг в воздухе в порядке выполнения гимнастического упражнения или хореографического движения. *С.* Человек может обвести карандашом нарисованный или вытесненный на бумаге круг (*С1*) или же срисовать круг (*С2*), который он видит перед собой. *Д.* Он может совершить круговое движение рукой, делая стежок иглы или распутывая узел. *Е.* Доказывая геометрическую теорему, он может изобразить на доске круг, являющийся составной частью чертежа, применяемого им для доказательства. Все это будут круги или их более или менее близкие подобию, но тем не менее во всех перечисленных примерах их центрально-нервные корни, их (как будет показано ниже) *уровни построения* будут существенно разными. Во всех упомянутых вариантах мы встретимся и с различиями в механике движения, в его внешней, пространственно-динамической картине и, что еще более важно, с глубокими различиями координационных механизмов, определяющих эти движения.

Прежде всего нельзя не заметить, что все эти круговые движения связаны всякий раз с *другими афферентациями*. Кружки по типу примера Л (доказательства будут приведены в гл. III—VI) получаются произвольно, в порядке неосознаваемого *проприоцептивного рефлекса*. Круг танцевально-гимнастический (*В*) точно так же обводится главным образом под знаком *проприоцептивной коррекции*, но уже не элементарно-рефлекторной, а в значительной части осознаваемой и обнаруживающей преобладание уже не мышечно-силовых, а суставно-пространственных компонент проприоафферентации. Круг обрисовываемый (*С7*) или срисовываемый (*С2*) ведется с главенствующим контролем *эре-*

ния — в первом случае более непосредственным и примитивным, во втором — осуществляемым очень сложной синтетической афферентационной системой «зрительно-пространственного поля». В случае *D* ведущей афферентационной системой является представление о предмете, апперцепция предмета, осмысление его формы и значения, дающее активный результат в виде действия или серии действий, направленных к целесообразному манипулированию с этим предметом. Наконец, в случае *E* — круга, изображаемого лектором математики на доске, — ведущим моментом является не столько воспроизведение геометрической формы круга (как было бы, если на кафедре вместо учителя математики находился учитель рисования), сколько полуусловное изображение соотношений рисуемой окружности с другими элементами математического чертежа. Искажение правильной формы круга не нарушит замысла лектора и не пробудит в его моторике никаких коррекционных импульсов, которые, наоборот, немедленно возникли бы в этой же ситуации у учителя рисования.

Все перечисленные движения (от *A* до *E*) будут по их мышечно-суставным схемам кругами, но их реализация, их построение, проводимое центральной нервной системой, будет для каждой из поименованных разновидностей протекать на другом уровне.

Очень характерный пример практического использования этих данных для восстановительной терапии движений дает проведенная в течение настоящей войны серия исследований А. Н. Леонтьева и его сотрудников (ВИЭМ — Институт психологии). По их наблюдениям, даже в случае грубого периферического нарушения движений вследствие анкилоза или тяжелой контрактуры амплитуда возможных произвольных движений пораженной руки способна изменяться в очень широких пределах за счет изменений одной только формулировки двигательного задания, т. е. переключения исполняемого движения на тот или другой уровень. Например, на приказание «поднять руку как можно выше» больной

поднимает ее до определенного штриха на (не видимой ему) измерительной рейке. На следующее затем приказание тронуть пальцем высоко расположенную видимую точку на листе бумаги больной поднимает руку уже на 10—12 см выше; если же задание будет выражено в виде «сними с крючка повешенный на нем предмет», то это обеспечит увеличение амплитуды подъема еще на десяток сантиметров. Контрольная проба подъема по беспредметному заданию (как в начале опыта) показывает, что завоеванные уже десятки сантиметров сохраняют силу только по отношению к вызвавшим их формулировкам. Легко заметить, что три последовательных задания Леонтьева относятся соответственно к вышеназванным уровням *B*, *C* и *D*. Пример показывает, как различия между собой иннервационные и мышечные формулы, производящие совершенно однотипные на вид движения, но в разных уровнях.

Характеристика отдельных уровней построения движений, насколько их удастся расчленить к настоящему времени, приводится в гл. III—VI; обрисовка динамики их возникновения и развития двигательных координации в филогенезе — в гл. VII и VIII. Здесь необходимо сделать еще только одно примечание.

Ни одно движение (может быть, за редчайшими исключениями) не обслуживается по всем его координационным деталям одним только ведущим уровнем построения. Мы увидим ниже, что в начале формирования нового индивидуального двигательного навыка действительно почти все коррекции суррогатно ведутся ведущим уровнем-инициатором, но вскоре положение изменяется. Каждая из технических сторон и деталей выполняемого сложного движения рано или поздно находит для себя среди *нижележащих* уровней такой, афферентации которого наиболее адекватны этой детали по качествам обеспечиваемых ими сенсорных коррекций. Таким образом, постепенно, в результате ряда последовательных переключений и скачков образуется сложная многоуровневая постройка, возглавляемая *ведущим уровнем*,

адекватным *смысловой структуре* двигательного акта и реализующим только самые основные, решающие в смысловом отношении коррекции. Под его дирижированием в выполнении движения участвует, далее, ряд *фоновых уровней*, которые обслуживают фоновые или технические компоненты движения: тонус, иннервацию и денервацию, реципрокное торможение, сложные синергии и т. п. Процесс переключения технических компонент движения в низовые, фоновые уровни есть то, что называется обычно автоматизацией движения. Во всяком движении, какова бы ни была его абсолютная уровневая высота, *осознается один только его ведущий уровень* и только те из коррекций, которые ведутся непосредственно нанем самом. Так, например, если очередной двигательный акт есть завязывание узла, текущее на уровне *D*, то его технические компоненты из уровня пространственного поля *C*, как правило, не достигают порога сознания. Если же следующее за ним движение — потягивание или улыбка, протекающие на уровне *B*, то этот уровень осознается, хотя он абсолютно и ниже, чем *C*. Конечно, из этого не следует, чтобы степень сознательности была одинаковой у каждого ведущего уровня; наоборот, *и степень осознаваемости, и степень произвольности растут с переходом по уровням снизу вверх*.

Переключение технической компоненты из ведущего уровня в тот или другой из низовых фоновых приводит, согласно сказанному, к уходу этой компоненты из поля сознания, а это явление как раз и заслужило название автоматизации. Вполне понятна выгода автоматизации, ведущей к разгрузке сознания от побочного, технического материала и этим создающей для него возможность сосредоточиться на самых существенных и ответственных сторонах движения, к тому же, как правило, изобилующих непредвиденностями всякого рода, требующими быстрых и находчивых переключений. Противоположный описанному процесс временного или полного разрушения автоматизации носит название *де-*

автоматизации. Оба эти процесса подробнее освещены в гл. VIII и IX.

Закончим настоящую главу *описью уровней построения*, характеризуемых во второй части этой книги. *L* — уровень палеокинетических регуляций, он же рубро-спинальный уровень центральной нервной системы. *B* — уровень синергии, он же таламо-паллидарный уровень. *C* — уровень пространственного поля, он же пирамидно-стриальный уровень. Распадается на два подуровня: *C1* — стриальный, принадлежащий к экстрапирамидной системе, и *C2* — пирамидный, относящийся к группе кортикальных уровней. *D* — уровень действий (предметных действий, смысловых цепей и т. п.), он же теменно-премоторный уровень. *E* — группа высших кортикальных уровней символических координации (письма, речи и т. п.).

В характеристиках уровней построения будем придерживаться по возможности единообразного плана: локализация и субстраты; ведущая афферентация; характеристические свойства движений; самостоятельные движения, управляемые данным уровнем; фоновая роль уровня в двигательных актах вышележащих уровней; дисфункции и патологические синдромы.

Часть вторая

Уровни построения движущей

Глава третья

Субкортикальные уровни построения

Рубро-спинальный уровень-палеокинетических регуляцийTM А

Обращаемся к поочередной психо-физиологической характеристике наметившихся к настоящему времени уровней построения движений от наинизших до наис: более новых по п.нез\ и сложных по структуре. Ввиду новизны вопроса в последующем изложении невозможно избежать ряда не вполне ясных, а быть может, и спорных пунктов.

Характеристике самого низшего из уровней, обладающего у человека функциональной самостоятельностью, — рубро-спинального уровня палеокинетических регуляций, необходимо предпослать некоторые данные о особенностях микрофизиологии нервно-мышечного процесса, играющих в этом уровне определяющую роль.

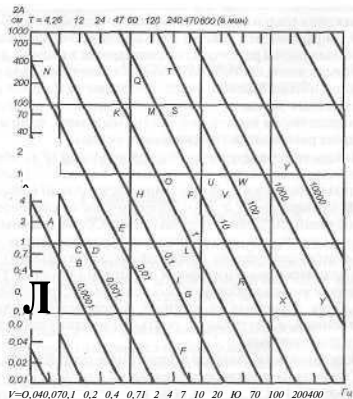
Древнейшими двигательными аппаратами, сохранившимися у человека со времени наиболее примитивных многоклеточных организмов, являются подвижные системы внутренних, оснащенные гладкой мускулатурой и иннервируемые от вегетативной нервной системы. Вся совокупность нервных и мышечных элементов группы заслуживает названия палеокинетической системы в противоположность неокинетической системе соматического костно-суставно-мышечного аппарата, связанного с сетью периферических миелинизированных нервных аксонов и с центральной нервной системой.

Движения гладких мышц палеокинетической системы медленны, диффузны; это даже не столько движения, сколько неторопливые смены различных стационарных значений длины мышечных клеток, способной оставаться неопределенно долго на каждом из них. Мышцы палеокинетической системы могут при известных условиях развивать значительные усилия, но лишь медленно, на низкой мощности (например, запирательное усилие раковинных створок у моллюсков).

Мышцы палеокинетической системы склонны к образованию сплошных сетей (синцитиев), нервы — столь же сплошных сплетений с обильными анастомозами (невриты). В прямой связи с этим палеокинетический нервный процесс очень склонен к иррадиациям. Среди сложных синергии палеокинетического аппарата большое место занимают статокинетические (формоприспособительные) процессы плавных изменений форм и очертаний органа. Правда, этому очень способствуют бесскелетные устройства всей сомы у тех животных, у которых палеосистема является единственной, и внутренних, опять-таки бесскелетных, органов у позвоночных.

Постепенно назревавшая в филогенезе потребность в быстрых и мощных движениях привела на одной из его ступеней к возникновению и строго параллельному развитию: а) жестких костно-суставных кинематических цепей скелета и б) поперечнополосатой мускулатуры с ее нервным оборудованием, вместе образовавших то, что мы обозначаем термином «неокинетическая система». Пассивная часть (а) этой системы является необходимым спутником активной части (б), так как полномасштабное использование скорости и мощности поперечнополосатой мышцы требует жестких рычажных устройств для передачи больших и быстро изменяющихся усилий, развиваемых такой мышцей, и для сопротивления подчас огромным инерционным силам, возникающим при ее работе (рис. 13).

¹ У насекомых ускорения, испытываемые их крыльями, могут достигать значений, в сотни раз превосходящих ускорение силы тяжести.



$V = 0,040,070,1, 0,2, 0,4, 0,71, 2, 4, 7, 10, 20, 100, 200, 400$ Гц

Рис. 13. Амплитуды ускорений при различных синусоидальных колебательных движениях у человека и животных.

По абсциссам отложены (в логарифмическом масштабе): внизу — частоты f , Гц; сверху — темпы T в мин; по ординатам: размах (удвоенные амплитуды) движений $2A$, см. Наблюдениям соответствуют различным амплитудам ускорений в единицах ускорения силы тяжести, от 0,0001 до 100000. Буквы от А до К помещены в пунктах сетки, соответствующих различным колебательным движениям; наклонные линии, близ которых они располагаются, характеризуют соответствующие амплитуды ускорений. А — ритмические сокращения гладкой мускулатуры матки; В — движения ложного червя; С — перистальтика кишечника; D — письмо младшего школьника; E — движения гусеницы; F — мерцательный эпителий; G — движение скорпиона; H — сердце рыбы; I — сердце мыши; K — движение кисти с молотком при рубке зубилом; L — тремор при миозинизме; M — движение центра тяжести всей ноги при ходьбе; N — движение «ног-шпалы» струга; O — движения стоп при антрапизме; P — быстрое вращение на фортепиано; Q — движения стоп при ходьбе; R — движения ног мухи при ходьбе; S — движения центра тяжести всей ноги при беге; T — движения стопы при беге; U — крылья воробья при полете; V — движения стопы мышцы при беге; W — крыло большой стрекозы при полете; X — то же, крыло мухи; Y — то же, крыло москиты

Неокинетический процесс как в нервном, так и в поперечнополосатом мышечном элементе имеет характер быстрой и краткой вспышки, длящейся у теплокровных немногие миллисекунды и связанной со столь же быстрым развитием на волокне поверхностной электроотрицательности (spike — спайк). Эта вспышка, вполне стандартная по характеру протекания и сопутствующая развитием переходящей краткосрочной невозбудимости (абсолютной рефрактерности), распространяется вместе со сдвигом потенциала вдоль волокна с высокой скоростью, являющейся функцией калибра нервного или мышечного волокна (чем волокно толще, тем скорость выше) и представляющей собой так называемую фазовую скорость. Иными словами, это не есть скорость действительного перемещения чего-либо — материи или энергии, но лишь скорость последовательного возникновения местных, стационарных процессов, провоцирующих друг друга от точки к точке. Из фазового характера распространения процесса прямо следует его бездекрементность. В неокинетической системе нацело господствует закон изолированного проведения фазовой волны возбуждения.

Вслед за возникновением вспышки возбуждения в точке волокна развертываются две параллельно текущие последовательности следовых процессов, доказанным образом представляющих собой две стороны одного и того же физиологического ряда: 1) смена следовых биоэлектрических потенциалов и 2) ряд сдвигов уровней возбужденности и всех амплитудных и скоростных показателей протекания возбуждения (рис. 14). Вслед за вспышкой возбуждения в период опа-

Функциями калибра волокна неокинетической системы как нервного, так и мышечного являются, помимо скорости поведения, и все остальные параметры возбудимости и самого возбуждения. Как нервные, так и поперечнополосатые мышечные волокна образуют у высших млекопитающих целые наборы (сортаменты), образующие непрерывные градиенты калибров и параметров и лишь с известной искусственностью подразделяемые на группы (типы А, В, С, Gasser и белые и красные мышечные волокна Krause). Несомненно, эти сортаменты являются биологическим вспомогательным средством для компенсации однообразия и негибкости неокинетического возбудительного процесса (см. ниже).

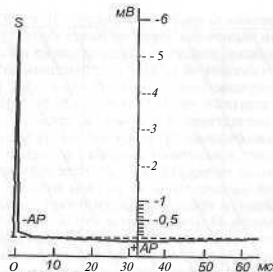


Рис. 14. Полуэлектронизированный биопотенциал возбуждающего элемента при разряде неокинетического возбуждения. Масштабы соблюдены правильно. Потенциалы указаны в милливольтах, время — в миллисекундах

дания spike начинается постепенное восстановление возбудимости (относительная рефрактерность). Спустя несколько миллисекунд от начала вспышки возбуждения (эти длительности сильно колеблются у разных волокон в зависимости от их калибров и связанных с ними общих скоростных характеристик) наступает фаза следового минус-потенциала, во многие десятки раз более низкого по амплитуде по сравнению со спайком. Эта фаза точно совпадает своим началом и концом с супернормальной фазой повышенной возбудимости. По ее минованию параллельно же развиваются в 10—20 раз более длительная и во столько же раз более слабая по амплитуде фаза следового плюс-потенциала и фаза понижения возбудимости — субнормальная. У разных типов волокон как длительности, так и качественные тонкости этой смены фаз несколько варьируют, но во всех случаях сохраняется неукоснительное соответствие между знаком и временными границами фазы по потенциалу и теми же сторонами фазы изменений физиологических характеристик.

дан но дан меж неок фаз краш енныи Вд ни те качест ни ро лее в ка ний фа означа тьна либо не дражени гает нали тельно пр В ани

•трет другой процесс, который будет освещен не-
•веский процесс в безмякотном нервном во-
•ушоположности, отличается от только
•стереотипа. Прежде всего
•В хнетической системе не имеет ха-
•он не дает явления спайка с
•и сопутствующей рефрак-
•уизуется медленными и
•самыми разнообраз-
•отклонений
•ба. Вместо харак-
•«возбужде-
•теопроцесс
•ения —
•со-
•то-

дан но дан меж неок фаз краш енныи Вд ни те качест ни ро лее в ка ний фа означа тьна либо не дражени гает нали тельно пр В ани

то время как покой такого элемента является
состоянием, способное длиться неопреде-
метим еще, что деятельное состояние не
происходящая чего-либо вроде «
обнаруживаются явления возбужде-
Механические явления возбужде-
результате вспышки возбужде-
вследствие целого ряда при-
ского, так и структурног
анизотропных дисках
возникают огромн
пряжения пер
упругих пас
роль буфер
но более
давая
внх

В ани... мышечного
волокна во... возбуждения сопутствует столь же кратко-
временный сдвиг всех механических показателей: длины по-
коя, модуля упругости и коэффициента вязкости, в сторону
укорочения первой и увеличения двух последних, после чего
все они почти мгновенным скачком возвращаются к своему
исходному состоянию. Ни нервный, ни мышечный элемент
неокинетической системы ни по биоэлектрическим показа-
телям возбуждения, ни по механическим показателям мыш-
цы не может пробыть в деятельном состоянии дольше при-
мерно десятка своих хронаксий. Таким образом, деятельное
состояние неоземента есть резко неустойчивое состояние, в

Относительно направления изменения модуля упругости во время
вспышки возбуждения еще не существует полного единогласия.

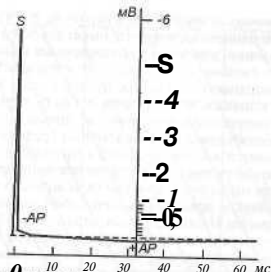


Рис. 14. Полуускоренный биэлектрический потенциал возбуждаемого элемента при резком изменении кинетического порога возбуждения. Масштабы совпадают правильно. Потенциалы указаны в милливольт, время — в миллисекундах.

дания spike начинается постепенное восстановление возбудимости (относительная рефрактерность). Спустя несколько миллисекунд от начала вспышки возбуждения (эти длительности сильно колеблются у разных волокон в зависимости от их калибров и связанных с ними общих скоростных характеристик) наступает фаза следового минус-потенциала, во многие десятки раз более низкого по амплитуде по сравнению со спайком. Эта фаза точно совпадает своим началом и концом с супернормальной фазой повышенной возбудимости. По ее миновании параллельно же развиваются в 10—20 раз более длительная и во столько же раз более слабая по амплитуде фаза следового плюс-потенциала и фаза понижения возбудимости — субнормальная. У разных типов волокон как длительности, так и качественные тонкости этой смены фаз несколько варьируют, но во всех случаях сохраняется неукоснительное соответствие между знаком и временными границами фазы по потенциалу и теми же сторонами фазы изменений физиологических характеристик.

64

Так детально описать весь ход смены явлений, сопровождающих вспышку неокинетического возбуждения, возможно потому, что этот ход *абсолютно стандартен* для каждого данного неокинетического элемента, почти не варьируя и между разными элементами. Инвентарь явлений и ресурсов *неокинетического возбуждения*, способного к скоростному фазовому распространению и к вызыванию физического сокращения поперечнополосатой мышцы, *полностью исчерпывается* отрывистым спайком с его всегда одинаково построенным следовым хвостом.

Вдобавок к этому при данном физиологическом состоянии точки неокинетического элемента никакие изменения качества или силы возбуждающего воздействия не в состоянии ровно ничего изменить ни в количественной, ни тем более в качественной картине описанных явлений. Этот последний факт известен под именем закона «все или ничего». Он означает, что неокинетическая возбудимость обладает *альтернативными свойствами*: возбуждение либо наступает, либо не наступает, без количественной зависимости от раздражения. Таким образом, этот закон необходимо предполагает наличие острых и четких *порогов возбудимости*, действительно присущих всем сторонам неокинетического процесса.

В анизотропных дисках *поперечнополосатого мышечного волокна* вспышке возбуждения сопутствует столь же кратковременный *сдвиг* всех механических показателей: длины покоя, модуля упругости и коэффициента вязкости, в сторону укорочения первой и увеличения двух последних¹, после чего все они почти мгновенным скачком возвращаются к своему исходному состоянию. Ни нервный, ни мышечный элемент неокинетической системы ни по биоэлектрическим показателям возбуждения, ни по механическим показателям мышцы не может пробыть в деятельном состоянии дольше примерно десятка своих хронаксий. Таким образом, *деятельное состояние неозлемента есть резко неустойчивое состояние*, в

¹ Относительно направления изменения модуля упругости во время вспышки возбуждения еще не существует полного единогласия.

то Бремя как покой такого элемента является устойчивым состоянием, способным длиться неопределенно долго. Отметим еще, что деятельное состояние неозлемента всегда сопровождается *электроотрицательной* вспышкой, никогда не обнаруживая чего-либо вроде «спайков-позитронов».

Механические явления в поперечнополосатой мышце в результате вспышки возбуждения сложны главным образом вследствие целого ряда при входящих явлений как механического, так и структурного порядка. В момент возбуждения в анизотропных дисках мышечного волокна почти мгновенно возникают огромные сократительные напряжения. Эти напряжения перехватываются растягивающимися за их счет упругими пассивными изотропными дисками, играющими роль буферов-аккумуляторов упругой энергии и значительно более медленно и плавно гсновь укорачивающимися, отдавая эту энергию через сухожилия и костные рычаги во внешний мир. Вспышка возбуждения, возникающая на волокне первоначально в области нервно-мышечной пластинки, распространяется тем временем в виде фазовой волны в обе стороны вдоль волокна. Наряду с этой волной вдоль мышечного волокна распространяется еще упругая волна механического напряжения, имеющая скорость примерно того же порядка, но совершенно иной природы. Немгновенность распространения вдоль мышцы обеих этих волн (приводящая, например, к тому, что при физиологической частоте тетауса около 100 Гц на протяжении длинной мышцы, вроде *m. Sartorius* человека, длина как упругой, так и эксцитарной волны укладывается 4—5 раз) в сочетании еще с неодновременностью вовлечения в возбудительный процесс всех мионовданной мышцы и с упомянутой выше буферной работой изотропных дисков приводит к большому смягчению и слиянию грубых и молниеносных контрактильных взрывов, превращая их серии в хорошо известную всем плавную и тонко дозированную работу скелетных мышц. Однако наибольшую роль в регуляции однообразных неокинетических

вспышек играет другой процесс, который будет освещен несколько ниже.

Палеокинетический процесс в безмякотном нервном волокне и гладкой мышечной клетке почти по всем признакам резко, до полной противоположности, отличается от только что описанного неокинетического стереотипа. Прежде всего нервный процесс в палеокинетической системе не имеет характера стандартной вспышки; он не дает явления спайка с его высоким минус-потенциалом и сопутствующей рефрактерностью. Вместо этого он характеризуется медленными и длительными сдвигами потенциала с самыми разнообразными очертаниями кривых и с возможностью отклонений как в сторону минуса, так и в сторону плюса. Вместо характерной для неокинетического процесса антитезы «возбуждение» (неустойчивое) — «покой» (устойчивый) палеопроеесс протекает под знаком антитезы «состояние возбуждения — состояние угнетения или торможения». Первое из них сопровождается сдвигом потенциала в сторону минуса, второе — в сторону плюса, и оба обладают одинаковой степенью устойчивости. Какого-либо особого уровня нуля или покоя, который как-либо качественно отличался бы от всех прочих, палеокинетический процесс не знает.

Далее палеопроеессу чужды ограничения, создаваемые законом «вес или ничего». Обнаруживаемые им смещения потенциала и изменения длины и напряжения гладких мышечных волокон протекают с самыми разнообразными градациями силы и деятельности. Не подчиняясь закону «все или ничего», палеокинетический процесс чужд и его необходимому спутнику — явлению стойких порогов: мера возбудимости палеокинетического элемента может колебаться в гораздо более широких пределах, нежели у неозлемента, но при этом даже на самые слабые раздражения палеозлемент откликается какими-то, хотя бы и слабыми, изменениями степени своей возбудимости. Для возбудимости *неокинетического* элемента характеристичны те *минимальные константы раздражения*, ниже которых он уже перестает отве-

чать; доя возбудимости же *палеозлемиета* характеристичными являются те *коэффициенты пропорциональности*, которые определяют зависимость между изменениями силы раздражения и изменениями результирующего ответа.

Не обнаруживая взрывообразных всплесков возбуждения на гомогенном фоне покоя, палеокинетический процесс не дает и явления фазовой волны: его протяженные сдвиги растекаются по волокну медленно и со значительным декрементом. Наконец, в противоположность отклику на надпороговые раздражения «ударом на удар», характерному для типа возбудимости неозлемента, палеокинетические элементы возбудимы не сразу: они требуют повторной и настойчивой раскочки (так называемый итеративный тип возбудимости *Laricque*), но зато после прекращения серии возбуждающих воздействий часто обнаруживают оборотную сторону той же инерции — дают длящийся еще некоторое время остаточный разряд.

Самый механизм распространения, а особенно передачи нервного процесса с одного элемента на другой, резко различен у обеих описываемых систем: в неокинетическом аппарате если и не господствует, то, во всяком случае, занимает очень видное место биоэлектрический запальный процесс, в то время как в палеокинетической системе главенствует филогенетически древний гуморальный механизм передачи¹.

¹ В то время как синапсы палеокинетической системы не обнаруживают каких-либо резких функциональных различий от аксонов и мышечных клеток этой системы, неокинетические синапсы (миоэвральные в меньшей, спинальные в очень высокой степени) наделены целым комплексом глубоких функциональных отличий от проводящих и контрактильных неокинетических элементов. По еще очень неясным причинам синапсы неокинетической системы представляют собой своего рода падеогашетические островки, в известном смысле анахронизм в новодивной системе, налагающие свой отпечаток на все проявления ее жизнедеятельности в целостном организме.

Спинальные синапсы изъяты из действия закона «все или ничего». Они обладают итеративностью, т. е. требуют либо длительной раскочки, либо конвергирующего воздействия на них со стороны многих афферентных нейронов. Также инерция сказывается и в свойственном им явлению остаточного разряда. В спинальных синапсах имеют место смены электроинических состояний с очень большой амплитудой изменений. Эти состояния могут обуславливаться в них как в результате импульсации со

Предельное однообразие, негибкость и отрывистость неокинетического процесса, единственного, чем располагает для своих отравлений соматическая нервная система, были бы слишком дорогой платой за принесенные им преимущества быстроты и мощности, если бы не одна группа факторов фундаментального значения, вносящая действительно необходимый здесь корректив.

Прежде всего нужно констатировать, что перечень физиологических отравлений, доступных неокинетическому элементу, исчерпывается стандартной неокинетической вспышкой *только*, если ограничить круг рассматриваемых явлений теми, которые характеризуются скоростным распространением по типу фазовой волны. За пределами этого ограничительного условия существует целая широкая область явлений, присущих этим же элементам и обнаруженных позднее из-за их значительно более трудной наблюдае-

стороны стволовых ганглиев головного мозга, так и в результате суммации раздражений, получаемых с чувствительных или вставочных нейронов. Эти электроинические состояния могут обладать как тем, так и другим знаком (это так называемое *central excitatory state* и *central inhibitory state* Sherrington), т. е. проявляясь в повышении или угнетении их возбудимости и проводимости. Первый вид сдвига обозначается еще как «облегчение» (*facilitation*); второй — известен в случае центрального происхождения под названием субординационного торможения, сеченовского торможения и др.

Именно в синапсах всего яснее выражена роль, выпадающая в неокинетической системе на долю гуморальных механизмов передачи возбуждения. Весь процесс прохождения залпов возбуждения через спинальные синапсы неоспоримо совершается при существенном участии биоэлектрической слагающей: это отчетливее всего доказываются их способностью пропускать через себя цепочки спайков точным счетом. В то же время наличие гуморальной компоненты в процессе синаптической передачи возбуждения в настоящее время доказано неоспоримо, хотя и не достигнуто еще полного единодушия по вопросу о механизме совместного действия обоих факторов. Очень вероятно, что синаптическая задержка проведения возбуждения обуславливается именно превращением возбуждительного процесса в области синапса из биоэлектрической фазовой волны в более сложное электрохимическое явление. Таким образом, в итоге необходимо признать за спинальными синапсами неокинетической системы целый ряд важнейших черт палеокинетического характера, совершенно чуждых как нервному, так мышечному волокну неокинетической системы.

мости. Явления этой области, относясь, несомненно, также к категории возбудительных процессов, резко обособляются от некинетического процесса целым рядом четких отличий. Несколько расширяя рамки употребительного в нервной физиологии термина, мы обозначим для начала эту область явлений как явления *альтерации*, а вызывающие их воздействия — как *альтерирующие агенты*.

Эти агенты удобно подразделяются на три группы: 1) электрическое поле подпороговой интенсивности, 2) другие адекватные возбудители некинетического процесса при подпороговой дозировке и 3) ряд фармако-химических агентов, являющихся обычно адекватными возбудителями для палеокинетической системы, но неадекватных по отношению к некинетическому возбуждению. В качестве типового представителя альтерирующих агентов лучше всего подходит первая группа. Действие их обнаруживается в нескольких закономерных рядах явлений.

Во-первых, они вызывают смещение всех *порогов*, характеризующих меру *возбудимости* элемента к некинетическому процессу. Во-вторых, параллельно этому вызываются и смещения *всех* амплитудных и скоростных характеристик *протекания* самой некинетической *вспышки возбуждения*: вольтаж-а спайка и следовых биоэлектрических явлений, длительности всех последовательных фаз стандартной цепочки возбуждения, скорости распространения фазовой волны и т. д. В-третьих, специально в мышечном волокне параллельно уже перечисленным смещениям возникают еще сдвиги *всех механических параметров*: и длины покоя, и модуля упругости, и коэффициента вязкости. Тем самым, следовательно, смещается и кривая зависимости между длиной мышечного элемента и его напряжением, характеристическая диаграмма длин напряжений (см. рис. 3).

Если альтерирующим агентом является экзогенное электрическое поле, то вся перечисленная совокупность смещений есть не что иное, как *пфлюгеровский электротон*. Все имеющиеся данные о проявлениях электротона на некине-

тическом элементе согласно свидетельствуют о не знаемом изъятии *правил параллелизма* протекания всех перечислявшихся смещений. Нарастание положительного потенциала (*анэлектротона*) вызывает постепенно усиливающиеся смещения в сторону общего угнетения, способного прогрессировать вплоть до полного паралича возбудимости и жизнедеятельности. Нарастание электроотрицательности протекает двуфазно, как это было впервые установлено и изучено Н. Е. Введенским, назвавшим эту группу явлений *парабиозом*. Умеренный отрицательный потенциал (катэлектротон) сопровождается сдвигами в направлении снижения порогов, увеличения амплитудных и скоростных показателей возбуждения и смещениями мышечных параметров в сократительном направлении. Прогрессивное нарастание катэлектротона проводит все указанные экзальтационные сдвиги через некоторый максимум, вслед за которым начинается их обратное развитие с последующим переходом во все углубляющееся угнетение, способное, как и при анэлектротоне, дойти до полного паралича. Это катэлектротоническое или парабиотическое угнетение *вслед* за перевозбуждением представляет собой, скорее всего, угнетение *вследствие* перевозбуждения и, действительно, в ряде вариантов опытов Введенского производит впечатление оглушения нервно-мышечного субстрата чрезмерной для него возбудительной нагрузкой.

К настоящему времени можно считать твердо установленной справедливость правила параллелизма смещений по отношению ко всем без исключения видам альтерирующих агентов любой группы. Хотя одни и те же агенты бывают способны при различных дозировках и различных условиях опыта вызывать смещения то катэлектротонического, то анэлектротонического знака, однако неукоснительно во всех случаях тот или другой знак смещения оказывается охватывающим весь список смещаемых характеристик.

Особенно важно подчеркнуть, что, каковы бы ни были причины, обусловившие альтерационные смещения в не-

кинетическом элементе, эти смещения всегда сопровождаются возникновением в альтерированном пункте *эндогенного электрического поля* того или другого знака, т. е. смещениями биоэлектрического потенциала. Амплитуды этих смещений потенциала имеют тот же порядок величины (близ 1 мВ и ниже), что и следовые потенциалы некинетической вспышки и «медленные потенциалы» палеокинетического нервного процесса, т. е. они намного ниже смещений потенциала при некинетическом спайке. Знак эндогенного поля, возникающего в связи с альтерацией, т. е. появление кати- или анэлектротонического смещения, строго согласуется с экзальтационным или тормозным характером альтерационных изменений, таким образом, все виды альтераций, т. е. все протекающие по правилу параллелизма смещения показателей возбудимости и возбуждения некинетического элемента, глубоко и неразрывно связаны с явлениями электротона.

Может быть, наиболее замечательная сторона альтерационного круга явлений сводится к следующему. Как указано, альтерационные смещения показателей сопровождаются сравнительно медленными, длительными и низковольтными смещениями биоэлектрического потенциала, совершающимися в разных случаях как в сторону минуса, так и в сторону плюса. Среди них нет более устойчивых или менее устойчивых состояний; они протекают под знаком антитезы «состояние экзальтации — состояние угнетения или торможения», причем оба эти состояния обладают одинаковой степенью устойчивости. Какого-либо особого, качественно отличного от всех прочих уровня нуля или покоя среди них нет.

Альтерационные смещения показателей не связаны ограничениями, налагаемыми законом «все или ничего», и протекают с самыми разнообразными градациями интенсивности. Не подчиняясь закону «все или ничего», альтерации чужды и явлению стойких порогов: даже на самые слабые альтерирующие воздействия некинетический элемент от-

кликается какими-то, хотя бы и слабыми, смещениями своих характеристик.

Далее, процесс альтерационного смещения распространяется вдоль элемента не по типу фазовой волны: его протяжные сдвиги растекаются по волокну медленно и со значительным декрементом. Наконец, электротонические смещения показателей возбудимости и характеристик возбуждения, если вызывать их посредством адекватных, но подпороговых раздражений, не проявляются с первого раздражения, а требуют повторной и устойчивой раскочки (так называемая суммация подпороговых раздражений), но зато после прекращения серии смещающих воздействий часто обнаруживают явление, во всех отношениях сходное с остаточным разрядом.

Если еще добавить ко всему сказанному, что в настоящее время гуморальный, медиаторный характер альтерационных смещений не подвергается никакому сомнению, то окажется, что описанная картина смещений *всех характеристик возбудимости некинетического элемента и протекания его возбуждательной вспышки есть не что иное, как палеокинетический процесс*, перенесенный на некинетический субстрат со всеми своими свойствами, включая даже такие (например, способность к иррадиации), которые, казалось бы, стоят в прямом противоречии с его морфологической структурой. Итак, пороги возбудимости, амплитуда и быстрота протекания спайка, скорость распространения фазовой волны, длительности, интенсивности и сопутствующие потенциалы постэксцитаторных фаз, механические параметры поперечнополосатой мышцы — короче говоря, все свойства и стороны некинетического процесса *обладают закономерной изменяемостью в неразрывной связи и строгом параллелизме с проявлениями палеокинетического процесса, развертывающегося на том же субстрате*. Неоспоримо, что под этой связью и параллелизмом скрыта *прямая причинная обусловленность*, свидетельствующая о том, что палеокинетический процесс обладает способностью являться *регулятором некинетического процесса*, обеспечивающим последнему ту самую гиб-

кость и настраиваемое[^]», которой так недостает ему, взятому в изолированном виде.

В частности, применительно к скелетной мышце установленное выше тождество между совокупностью электротонических смещений и палеокинетическим процессом приводит к очень важному выводу. В полном соответствии с ним и охарактеризованные выше электротонические смещения мышечных параметров — длины покоя и коэффициентов упругости и вязкости — обнаруживают полную аналогию с основным механическим сократительным процессом палеокинетической гладкой мышцы; это есть *физиологическая деятельность поперечнополосатой мышцы по образу и подобию гладкой*. Обобщая все известное по этому поводу, мы имеем все основания утверждать, что это есть тот самый круг явлений, который обозначается термином «физиологический тонус поперечнополосатой мышцы», до сих пор не имеющим точного и общепринятого определения. Все изложенное и приводит нас к этому искомому точному определению: *мышечный тонус есть палеокинетический модус работы поперечнополосатой мышцы*, иными словами — деятельность ее по образу и подобию гладкой мышцы. Это определение согласуется со всем имеющимся фактическим материалом и при этом открывает очень широкие горизонты для дальнейших физиологических обобщений накопленных к настоящему моменту фактов.

Прежде всего из сказанного следует, что физиологический тонус скелетной мышцы есть *сложная и целостная совокупность явлений* отнюдь не одного только механического порядка. В соответствии с правилом параллелизма катэлектротоническое смещение тонуса мышцы проявляет себя, с одной стороны, *уменьшением длины покоя волокон* (т. е. его укорочением), сопровождаемым возрастанием его *коэффициентов упругости и вязкости*; с другой же стороны, оно выражается в увеличении его возбудимости, т. е. снижении всех порогов, и в возрастании амплитуд всех сторон неокинетического физического сокращения: его высоты, мощности,

скорости, амплитуды спайка и т. д. Иначе говоря (слегка жертвуя точностью определений в интересах наглядности), в механическом плане катэлектротонический сдвиг тонуса проявляет себя *двойко*: в виде нарастания *тонического напряжения* мышцы и в виде создания предпосылок для усиления *физического сокращения* и *напряжения* (неокинетической выпышки), разыгрывающихся на его фоне. Анэлектротоническое смещение (угнетение) тонуса проявляет себя всесторонне-обратным образом, вплоть до полного блокирования неокинетического процесса.

Рядом с этим следует отметить, что подчеркивавшийся выше строгий параллелизм между постэксциаторными фазами колебаний возбудимости и сопутствующими колебаниями следовых потенциалов может теперь уже легко быть расценен как имеющий все ту же электротоническую природу. Таким образом, серия постэксциаторных сдвигов, охватывающих совокупность всех сторон возбудимости и возбуждения по правилу параллелизма, есть не что иное, как молниеносно быстрая *последовательность альтераций* сменяющихся знаков. Сопоставляя этот вывод с данным выше определением физиологического тонуса неокинетической мышцы, мы обнаружим, что тонические смещения отнюдь не обязательно медлительны по своей природе: цепочка постэксциаторных смещений включает в себя и быстрые, закономерную последовательность колебаний механических параметров тонуса. Как показывает точный анализ, при оптимальной частоте тетанизации эти быстрые следовые смещения тонуса прямо способствуют увеличению высоты и слитности тетануса.

Определение *тонической деятельности* поперечнополосатой мышцы как *палеокинетического модуса ее работы* подкрепляется и констатированными при ее тонических сокращениях медленными, низковольтными сдвигами биоэлектрических потенциалов, и доступностью для этих сокращений любой длительности, и возможностью для них любых градаций интенсивности, т. е. их иммунитетом по отноше-

нию к закону «все или ничего», и отсутствием в них явления фазовой волны, и, наконец, равной возможностью для них изменений обоих знаков. Действительно, в области тонической деятельности поперечнополосатой мышце доступно как активное укорочение, так и активное удлинение, совершенно чуждое неокинетическому процессу. Такого рода активное удлинение наблюдается, например, при явлении реципрокного расслабления мышц-антагонистов, играющем важнейшую роль в координации и описываемом ниже.

Сделанный подробный анализ алтерационных, иначе — электротонических, иначе — палеокинетических, явлений в неокинетической нервно-мышечной системе и тех регуляционных возможностей, которыми обладает палеокинетический процесс по отношению к неокинетическому взрывному стандарту, нужен был в настоящем изложении потому, что (как это уже проскальзывало и выше) все эти явления отнюдь не относятся к числу только экзогенно вызываемых, искусственных процессов. Как показывает широкий круг разнороднейших наблюдений, все те явления, которые мы обобщили под названием палеокинетического процесса, действительно непрерывно имеют место в физиологических условиях на неокинетических субстратах неповрежденного организма, играя в них координационную роль первостепенной важности. У высших позвоночных этот процесс является орудием *центральной регуляции* и возникает в *стволовых мезэнцефалических ганглиях* головного мозга, спускаясь оттуда по проводящим путям спинного мозга к синапсам передних рогов и далее — по мотоневронам — к скелетным мышцам. Этот центрально управляемый палеокинетический регуляционный процесс многократно просвечивал в наблюдениях разных авторов, по большей части и не подозревавших, что они наблюдают один и тот же цикл процессов. И спинномозговые «медленные потенциалы» американских авторов, и переменные состояния возбудимости и угнетения (CES и CIS) Sherrington, и интермиттирующий фактор Baron и Matthews, и субординация Lapicque, и тор-

можение Сеченова, и т. д. — все это может сейчас уже, без сомнений, быть причислено к проявлениям описываемого регуляционного цикла. Как будет далее показано, этот цикл и представляет собой физиологическое содержание функции наимизшего из координационных уровней построения человека — рубро-спинального уровня палеокинетических регуляций А, к характеристике которого мы и переходим.

Итак, в скудное однообразие слепого разряда энергии, каким, по сути дела, является неокинетический взрывной процесс, физиология центральной нервной системы вносит существенный корректив. *Палеокинетическая, тоническая* (электротоническая плюс гуморальная) *деятельность стволовых аппаратов центральной нервной системы* берет на себя в известном смысле *возглавление и регуляцию* филогенетически более нового, но обладающего целым рядом отрицательных сторон неокинетического, фазического (биоэлектрического) процесса. Эта регуляция не вмешивается в самое протекание неокинетических спайковых залпов, ничего не прибавляет к ним и не убавляет от них: она лишь создает для них *преднастройку*, предустанавливает значения констант и параметров, по которым будет далее разворачиваться протекание неокинетического процесса. Образно можно было бы сравнить ее действие сжатием пальцем скрипичной струны, которое само не создает звука, но определяет то, какой звук будет далее извлечен движением смычка, или же с установкой на клавишах арифмометра требуемого многозначного числа, которое затем, после поворота рукоятки, появится в цифровых окошечках аппарата. Не случайно то, что Lapicque сравнил одно из подмеченных им проявлений этого подготовительно-регуляционного процесса с переводом железнодорожных стрелок (aiguillage), к чему мы еще вернемся ниже.

Уровень палеокинетических регуляций, он же рубро-спинальный уровень, обозначенный в сводной описи символом А, по осуществляемым им функциям есть не только низший, но и неоспоримо древнейший в филогенезе, чего, однако, нельзя

сказать о его субстратах у человека. Анатомическая ядерная система группы красного ядра сформировалась только у млекопитающих, и туда мигрировал в порядке энцефализации целый ряд функций, выполняющихся и доньше выполняемых у нижестоящих позвоночных системой спинного мозга. Весь этот ход развития будет освещен ниже, в гл. VII.

Спинной мозг, взятый в отдельности, т. е. мысленно отделенный от мозгового ствола ниже уровня красных ядер, настолько инволюционировал у человека по ходу процесса энцефализации, что не обусловливает не только каких-либо самостоятельных движений, но даже внятных фоновых компонент. Все, что он может дать изолированно, — это в лучшем случае один-два искусственно вызываемых клинических рефлекса. Неверно было бы, однако, заключать отсюда, что мы приписываем ему только чисто передаточную роль. Как сейчас будет указано, активная роль спинного мозга у человека еще довольно многообразна, но только нет ни одного естественного физиологического процесса, в котором он выступал бы в одиночку, а не как одно неразрывное целое со стволовой (мезэнцефалической) частью головного мозга. Именно в силу этого мы даем описываемой системе наименование *рубро-спинального уровня*.

Анатомический субстрат рубро-спинального уровня (т. е. совокупность органов, без которых функция этого уровня невозможна) составляют: спинной мозг с его клеточными образованиями и по крайней мере частью проводящих путей; группа клеточных ядер в стволе головного мозга, которую мы для краткости обозначаем как *группу красного ядра* и которая включает в себя само красное ядро с его двумя частями (*palaeorubrum* и *neorubrum*), *substantia nigra*, ядро Даркшевича и, может быть, люисово тело, область *hypothalamus*, ядро Дейтерса, древний мозжечок и, наконец, в каких-то не вполне ясных функциональных отношениях, центральная часть вегетативного, парасимпатического и симпатического нервного аппарата.

Афферентации, определяющие собой характер работы уровня, построенного на этом субстрате, представляют в основном: а) древнейшие компоненты проприоцептивной чувствительности — то, что можно обозначить как проприоцепторную тропизмов, — исходящие из концевых аппаратов, воспринимающих величину и направление мышечных напряжений и усилий, и из отолитовых аппаратов уха (палеолабиринтов), и б) древнейшие же компоненты танго-рецепторики, а именно то, что объединяется под термином «пропатоцетическая чувствительность». Относительно этой последней не подлежит уже никакому сомнению палеокинетический характер ее протекания, особенно явно выступающий при так называемых гиперпатиях, т. е. синдромах выпадения эпикритической чувствительности при соответственно локализованных мозговых очагах: итеративная медленность раскочки, остаточный разряд, наконец, ясно выраженная иррадиация. Микрофизиологический характер древнепроприоцептивного процесса еще не очень ясен. Вся перечисленная афферентация, объединенная в довольно несложный синтез, сигнализирует животному о положении и направленности его тела в поле тяготения и, что, может быть, является наиболее существенным для координации, о величинах растяжения (по длине) и напряжения (по силе) скелетных мышц. Именно этот уровень выполняет в самом основном тот круговой коррекционный процесс согласования эффекторной активности каждой мышцы с ее наличной длиной, схема которого была обрисована в гл. II под именем *рефлекторного кольца*.

Здесь необходимо осветить один очень общий принцип. Основываясь на отмеченном выше факте эволюции центральной нервной системы по типу качественного обрастания (а не количественного разрастания), можно было бы представить себе центральную нервную систему при функционировании некоторого уровня *P*, работающего так, как если бы она была усечена сверху вплоть до ядерных субстратов этого уровня. Это, однако, совершенно неверно. Если бы

можно было иметь в своем распоряжении некий светофильтр, через который центральная нервная система высшего млекопитающего могла быть наблюдаема в строго «монокроматическом свете» одного определенного уровня (фигуральное пожелание, возникшее по аналогии с доступной современным астрономам возможностью наблюдать солнечную поверхность в монокроматических лучах одной определенной спектральной линии), то через светофильтр уровня *P* она оказалась бы видимой по-прежнему в полной комплектности всех ее активных образований, вплоть до самых новейших, т. е. работающего и в этом случае как одно неделимое целое, но при этом не преминули бы обнаружиться два капитальных факта, с необходимостью уясняющихся косвенно и из наблюдений, доступных сейчас. Во-первых, при таком монокроматическом аспекте оказались бы резко измененными пропорции, функциональные удельные веса и даже размеры структурных частей мозга по сравнению с их фактическим обликом, соединения же, синапсы и проводящие пути одни резко подчеркнулись бы, другие, наоборот, ступшевались до полной нераспознаваемости. Во-вторых же, тот физиологический процесс, который вычленился при подобном наблюдении и из всех текущих в центральной нервной системе процессов, обнаружил бы четко своеобразные особенности и характеристики, притом очень близко сходные с теми, которыми он обладает на низших ступенях филогенеза, у тех видов, у которых этот уровень *P_и* его определяющие морфологические субстраты являются потолком их возможностей и морфогенетических достижений. Таким образом, центральная нервная система высшего млекопитающего ведет древний по всем своим свойствам физиологический процесс, характерный для уровня *P*, на измененном и обогащенном субстрате, неизбежно стилизующем его несколько по-иному и делающем его одновременно и таким и не таким, каким он был некогда, в эпоху главенствования уровня *P*. Если двигательный акт, реализуемый центральной нервной системой, представляет собой сложную структуру с рядом

фоновых уровней под верховным управлением ведущего, то на одном и том же неделимом субстрате центральной нервной системы высшего млекопитающего одновременно и совместно протекает ряд резко не сходных между собой физиологических процессов, не только не сбивающих друг друга в здоровой норме, но, наоборот, взаимодействующих между собой и дооформляющих друг друга.

Именно такой случай с особенной четкостью выявляется применительно к функции рассматриваемого рубро-спинального уровня *A*. Если начать с субстрата, то наблюдаемый через монокроматическое стекло марки «А» головной мозг еще очень мал, беден и по преимуществу мелкоклеточен; в его кору сенсорные импульсы уровня *A* затекают скудно, диффузно, не часто достигая поля сознания. Самое важное то, что этот головной конец — далеко еще не главный конец; это скорее «спинной мозг головы», обслуживающий головные метамеры, как *erteria coronaria* обслуживает сердечную мышцу. Весь ствол центральной нервной системы в целом по уровню *A* еще очень отчетливо функционально метамерен и особенно явственно связан с вегетативной нервной системой (в стекла марок других, вышележащих уровней эта связь почти невидима).

Процесс, развертывающийся на этом субстрате, есть не что иное, как рассмотренный в начале этой главы *палеокинетический возбудительно-тормозной процесс*, которому и было уделено там место не во имя тех движений, которыми он ведает во внутренних органах и которые в общем балансе психомоторики представляют мало интереса, а именно в связи с той ролью, которая выпадает ему в области соматических координационных регуляций. Как будет видно из последующего изложения, в каждом уровне построения физиологический процесс имеет свои приемы осуществления сенсорных коррекций, свои особенности протекания и работы, характерные для него не в меньшей степени, нежели качественный состав образующих его афферентаций. Способ координационного управления, характерный для рубро-спиналь-

ного уровня А, есть исходящее из центральной нервной системы и протекающее на неокинетической нервной и мышечной сети регулирующее воздействие на неокинетический, тетанический эффекторный процесс посредством палеокинетических, электротонических смещений его характеристик — как раз тот цикл явлений, которому была посвящена первая часть этой главы. Очень своеобразно, что палеокинетический процесс, родившийся в филогенезе вместе со своим специфическим субстратом — безмякотной, невропилею нервной сетью и системой гладких мышц, и продолжающий даже у высших млекопитающих протекать на нем же в ограниченных пределах вегетативного аппарата, в то же время сумел акклиматизироваться и на неокинетическом субстрате, казалось бы, резко чуждом ему как по эпохе своего возникновения, так и по всем своим структурным свойствам. На этом субстрате, обеспечивающем мизлиновыми оболочками своих аксонов все условия для «закона изолированного проведения» фазовых волн неокинетического возбуждения, он как-то умудряется иррадиировать ничуть не хуже, чем на палеокинетическом невропиле, насквозь пронизанном и простеганном анастомозами. Там, где неокинетический взрывной процесс встречает острые, трудно смещаемые пороги, палеокинетика течет характерным для нее беспороговым стилем с обширными итеративными смещениями показателей возбудимости. О том значении, какое имеет этот процесс для организации неокинетических целей возбуждения, было уже сказано выше; нужно еще рассмотреть, в каких явлениях обнаруживает себя эта регуляция и какие стороны координационного процесса она обслуживает.

Прежде всего на долю рубро-спинального уровня выпадает ряд так называемых спинальных рефлексов, в свое время очень подробно изученных школой Sherrington и, в сущности, представляющих собой переходной фазис от чисто метамерного модуля работы спинного мозга к некоторой интеграции. Здесь, на этом уровне, интеграция осуществляется еще в порядке плюрисегментальных иннерваций, по-

82

степенного иррадиационного вовлечения в работу возрастающего числа метамеров и, наконец, что образует собой уже более высокую качественную ступень, в порядке одновременного и последовательного распределения возбуждений и торможений не только по мышцам метамеров, но и по антагонистическим парам мышц *конечностей* — образований, филогенетически более молодых, нежели метамеры. Наиболее характерным среди рефлексов этой группы является рефлекс *реципрокной иннервации* и *дENERВАЦИИ* антагонистов, лежащий в основе всякого вообще движения конечностей. Этот рефлекс обеспечивает при вступлении одной из мышц конечности или пояса в активный тетанус дENERВАЦИЮ ее антагониста. Из сказанного в первой части этой главы следует, что эта *дENERВАЦИЯ* есть *анэлектротоническое снижение тонуса*, сопровождаемое, конечно, параллельными анэлектротоническими сдвигами всех показателей возбудимости и параметров протекания возбуждения. Реципрокная дENERВАЦИЯ сопровождается спонтанным удлинением мышцы, не связанным с растягиванием мышцы какой-либо вне ее возникающей силой, поскольку такое же удлинение можно наблюдать и на мышце с перерезанным и отпрепарированным концевым сухожилием. Это удлинение мышцы яснее всего доказывает палеокинетический характер совершающегося в ней процесса, поскольку неокинетический спайк, всегда электроотрицательный, во всех случаях дает укорочение мышцы; и только сдвиг потенциала в сторону плюса, доступный биполярному палеокинетическому процессу, способен обусловить ее удлинение.

Раз речь уже зашла о спинальных рефлексах, нельзя не вспомнить о мнении, еще недавно имевшем многочисленных адептов: всякое сколь угодно сложное координированное движение может быть рассматриваемо как мозаика (или синтез — слово здесь мало меняет суть дела) из рефлексов. Современная неврологическая концепция решительно отмежевывается от подобного атолизма. Для того чтобы получить простые рефлексы, надо не целостное движение раз-

бить на отдельные кусочки, а надо расположить все возможные для человека целостные движения в ряд в порядке их возрастающей сложности, и тогда на том конце ряда, куда мы отнесем наименее сложные, мы найдем и все рефлекссы.

К множеству аргументов, способных подкрепить это положение, теория координации добавляет один новый, может быть, наиболее сильный. Каждый уровень построения отличается от других по качеству и составу определяющих его афферентаций. Построить одно движение высшего уровня из множества движений низовых уровней, например из рефлексов уровня А, так же невозможно, как невозможно из тысячи осознательных или проприоцептивных ощущений скомбинировать хотя бы одно зрительное.

Совсем иное дело — участие элементарных движений или элементов движения, управляемых низовым уровнем, в построении сложного координированного акта, ведущегося на одном из вышеележащих уровней. Здесь необходимо установить полную ясность. Нет и не может быть таких *движений*, управляемых каким-либо уровнем, из которых, как из кирпичей, составлялось бы движение более высокого уровня. Но процессы замыкания с рецепторики на эффекторику в порядке функционально-проприоцептивного рефлেকторного кольца, процесса координационной зашифровки импульсов необходимым образом текут в низовых уровнях при реализации движения более высокого уровня, создавая для него то, что может быть названо «черновой техникой» движения, используя те необходимые афферентации, которые до более высоко расположенных уровней и не доходят, и разгружая эти верхние уровни от вникания в бесчисленные вспомогательные ингредиенты, необходимые каждому движению. Именно в силу этого обстоятельства при определении понятия уровней построения везде говорилось о *ведущих уровнях*, а не о единственных или монопольных по данному движению. Ниже мы увидим на ряде примеров, как явственно вскрывается иногда структурная многослойность того или другого движения; сейчас упомянем только, что ведущий

уровень явно распространяет свой контроль на все нижеележащие, фоновые уровни, участвующие в данном движении, так что каждый из последних исполняет свою партию в оркестре движения, но уже теряя в какой-то мере свое индивидуальное лицо и звуча только из-под палочки уровня-дирижера.

Следующую группу процессов, выполняемых рубро-спинальным уровнем, для которых рубральное происхождение точно доказано, составляет то, что называется *субординацией хронаксий*, т. е. центральное регулирование скоростных показателей возбудимости мотон¹. Это явление было впервые констатировано L. & M. Laricque при изучении хронаксий и потому обычно относится только к ней одной; но не знающее исключений правило параллелизма смещений сохраняет свою силу и здесь, т. е. субординационный процесс смещает все характеристики возбудимости и фазового процесса в нервном и мышечном элементе, а равным образом и механические параметры мышцы, характеризующие ее тонус. Субординация имеет в большинстве случаев тормозной, анэлектротонический характер, хотя с несомненностью доказаны и субординационные сдвиги противоположного знака. Необходимо отметить, что в то время, как процесс возбуждения с сопутствующим ему электроотрицательным сдвигом потенциала несомненно един во всей нервной системе высшего позвоночного, явления угнетения или торможения явно очень многообразны по своей физиологической природе.

Координационное значение субординации указано было уже самими открывшими ее авторами. Поскольку, согласно Laricque, необходимым условием для синаптической проводимости является *изохронизм* (хотя бы и очень приближительный) обоих разделемых синапсом возбудимых образований — двух нейронов или мотонейрона и мышцы, постольку планомерные смещения хронаксий посредством субординации, способные превращать изохронизм в гетерохронизм и

¹ Мотонотом мы называем совокупность: а) мотонейрона и б) соединенного с ним мышечного пучка — так называемого миона. Термин «мотон» является синонимом английского термина «motor unit».

обратно в синапсах клеток передних рогов спинного мозга, могут, по выражению Laricque, «переводить стрелки» для эффекторного импульса, не давая ему, как правило, затекать одновременно в оба члена антагонистической мышечной пары. Очевидно, подобный перевод стрелок («aiguillage») — все тот же акт реципрокной иннервации и денервации антагонистов, описанный Sherrington, но отмеченный с новой точки зрения. Несомненно, Laricque удалось глубже, чем Sherrington, проникнуть во внутреннюю физиологическую сущность этого акта.

Следующая группа явлений, происходящих из системы красного ядра, — явлений, впервые указанных тем же Sherrington и детально изученных Magnus, de Kleijn и Rademaker, а именно группа тонических рефлексов, — не требует особых разъяснений для установления ее полного тождества со всеми явлениями, рассмотренными выше. В настоящее время нет более сомнения, что и мышечный тонус (по крайней мере, в его наиболее типических проявлениях), и субординация, и еще целый ряд явлений, которые будут перечислены ниже, представляют собой даже не разные стороны одного основного явления, а всего лишь разные способы смотреть на одно и то же явление и экспериментально вызывать его.

Под названием *мышечного тонуса* в настоящее время объединяется так много явлений, что не удивительно, до какой степени это понятие стало в конце концов трудным для определения. К группе явлений, подводимых под этот термин, относится и целиком гуморальный «пратонус», изучавшийся Uexküll на низших беспозвоночных и сам переливавшийся, как жидкость, по их лучам и конечностям. И тот (очевидно, основной) сложный палеокинетический синтез угморальноэлектротонических смещений *возбудительных и механических характеристик поперечнополосатой мышцы*, который уже был охарактеризован и выглядит в механическом плане как *работа* (сокращение и расслабление) *поперечнополосатой мышцы по образу и подобию гладкой*. И две разновидности, скорее всего, именно этого палеокинетиче-

ского тонуса, настолько резко несходные, что в них нелегко усмотреть явления одного общего генеза: а) *эластический тонус*, повышающийся при кортикальных гемиплегиях, и б) *вязкий тонус*, нарастающий при поражениях среднего звена экстрапирамидной системы. За упомянутыми видами тонуса следуют более молодые, но все еще явно тонические формации: те тонические сокращения, которые получила на мышцах децеребрированной кошки Briscoe (а за ней А. А. Гориков и А. А. Гусева из лаборатории А. А. Ухтомского), действуя на них непрямыми электрическими раздражениями подпороговой частоты и силы. Судя по частотам, применявшимся этими экспериментаторами, тонусу этой разновидности соответствует в электромиограммах частотная полоса между примерно 15 и 30 Гц. Наконец, сюда же приходится отнести те уже прямо переходные формы между тонусом и тетанусом, которые иногда так и называются «*тетаническим тонусом*» и наблюдаются, например, при шейно-туловищных статико-кинетических рефлексах. Называть всю эту массу разнороднейших явлений одним и тем же обозначением «тонус» в настоящее время ничуть не лучше, чем называть, например, все процессы, протекающие в пищевом тракте от верха до низа, одним словом «пищеварение», не подразделяя далее этого понятия.

Итак, для ясности необходимо, во-первых, выделить изо всей этой пестрой массы по возможности узкую и однородную группу явлений, за которой должно быть удержано название тонуса, и, во-вторых, дать этой группе возможно более четкое определение. Мы будем в дальнейшем изложении понимать под мышечным тонусом *палеокинетический модуль работы поперечнополосатой мышцы, взятый в его целом*, т. е. включающий в себя не только смещения механических параметров мышцы, но и все сдвиги, неразрывно связанные с этими смещениями согласно правилу параллелизма. С этой точки зрения тонус мышцы есть отнюдь не только наличное состояние упругости и вязкости мышечной ткани и изменения этого состояния, но и вся совокупность явлений *гибкого*

и пластичного реагирования возбудимости мышечного массива в условиях работы целостного организма. *Тонус есть текущее состояние подготовленности нервно-мышечной периферии к избирательному принятию эффекторного процесса и к его реализации.* Сюда отходят, таким образом, и самостоятельные тонические сокращения, и расслабления скелетных мышц, и механический фон совокупности коэффициентов упругости и возбудимости, на котором протекают активные неокинетические тетанусы, и, наконец, вся совокупность явлений предварительной установки нервно-мышечной периферии на имеющую прибыть к ней эффекторную импульсацию.

В частности, единство тонических и субординационных явлений доходит до того, что даже одни и те же способы нанесения раздражения вестибулярному аппарату вызывают как характерные магнусовские сдвиги шейного и туловищного тонуса, так и субординационные смещения хронаксий. Как субординационному «переводу стрелок» в спинальных синапсах сопутствует заодно снижение тонуса антагонистов в соответствии с правилом параллелизма, т. е. реципрокное расслабление, так и обратно, перераспределение тонуса, наблюдаемое при вращениях головы и всякого рода раздражениях вестибулярного (отолитового) аппарата, сопровождаются попутно перераспределением возбудимости мышечного массива и его «готовности» к тетанусам: в тех группах мышц, в которых имеет место повышение тонуса, отмечается и увеличение (всякой, а в частности, электрической) возбудимости.

Палеокинетические явления в самых различных разделах и этапах центральной нервной системы, имеющие несомненное регуляционное значение и во многих случаях ясно вскрывающие свое родство с управлением возбудимостью и проводимостью нервных образований по отношению к неокинетическим потокам, должны также быть причислены к разделу отправлений анализируемого уровня построения. Так, следует упомянуть об обширных группах явлений, обобщенных Sherrington как центральные состояния воз-

бужденности и угнетения (Central excitatory state и Central inhibitory state, сокращенно CES и CIS), характеризующие общее состояние спинного мозга или того или иного из его рефлекторных полей, интересные в том отношении, что сам автор упомянутых терминов, а вслед за ним в последнее время и Fulton подчеркивали их неоспоримо гуморальный характер. Эта черта гуморализма роднит обсуждаемые состояния опять-таки с палеопроцессом и позволяет видеть в них, может быть, наиболее обобщенные формулировки центрального палеокинетического регуляционного механизма рубро-спинального уровня. Записанные со спинного мозга характерные «медленные потенциалы» (slow potentials) чрезвычайно похожи по всему облику кривых на палеокинетические процессы, записанные осциллографическим путем с их истонных субстратов во внутренних органах.

Одним из убедительных доказательств того, что центральная нервная система работает для рубро-спинальной палеокинетики не усеченно, а своим полным составом, является факт записи медленных биоэлектрических кривых, вполне аналогичных с вышеупомянутыми, и с коры полушарий. На электроэнцефалограммах коры, записанных синхронно с кривой биоэлектрических потенциалов работающей мышцы, проступают совершенно ясно наложенные одна на другую две различные ритмовые группы. Одна из них, охватывающая частотную полосу примерно от 40 до 80 Гц, бывает часто синхронной «удар в удар» со спайками тетанической цепочки, параллельно записываемой с мышцы (рис. 15); это так называемый *p*-ритм (*Berger*). Вторая группа, в которой анализ вскрывает целый спектр различных частот от 6–8 до 15 Гц, носит название *a*-ритма. Палеокинетический характер этой медленной группы вне всяких сомнений, хотя явления здесь сильно осложнены по сравнению с периферией, как это и подобает коре головного мозга.

Характерными местами возникновения *a*-волн являются мелкоклеточные поля и слои коры, относящиеся к филогенетически древним структурам (например, зрительная зона

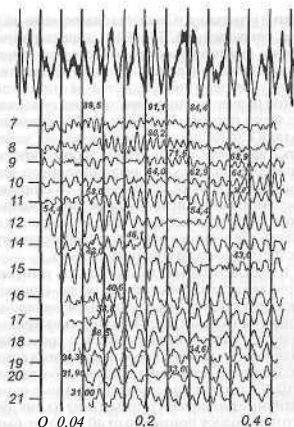


Рис. 15. Вверху — электрограмма короткого произвольного изометрического напряжения билевого человека. Остальные — отсчеты времени — 25-е доли секунды (работа автора и Л. Осипова, ЦНИИФХ, 1941 г.). Под электрограммой — «аппаратурное» разложение ее по методу автора на составляющие колебания. Над каждым из колебательных залпов указана его частота. П.п. Цифры слева — длительности применявшихся для анализа «испытательных периодов» в $\frac{1}{100}$ долях секунды

area striata), в то время как спайкообразные b-волны генерируются, как правило, филогенетически более новыми крупноклеточными образованиями. В преобладающей части ганглиозные образования, от которых начинаются длинные эффекторные аксоны, крупноклеточны; таковы пятый слой пирамидного поля коры, pallidum, эффекторные клетки corporis striati, отдел красного ядра, дающий начало рубро-спи-

нальному тракту Monakow, ит. п. Наоборот, мелкогранулярные структуры характерны преимущественно для непроекционных отделов коры, и не исключено, что преобладающая часть мелких клеток этих полей вовсе не посылает аксонов в белое вещество, входя в качестве составных элементов в древнетипные невровипильные образования.

Следующая группа соображений в пользу палеокинетической природы а-ритмов была высказываемая в разных вариантах уже многими авторитетными исследователями (Rohracher, Kornmaller, Adrian, Walsh и др.) и, видимо, начинает приобретать общее признание. Это аргументы, говорящие о тесной связи а-ритмов с гуморальными, метаболическими процессами в ганглиозных образованиях (сравнить с метаболической трактовкой следовых потенциалов в аксоне!) и, в частности, с процессами ассимиляции и ресинтеза. Об этом говорит поведение р-ритмов как «токов покоя», наиболее четко выявляющихся при полном эмоциональном спокойствии и бездеятельности испытуемого, изолированного от внешних раздражений, и немедленно исчезающих с возобновлением активности мозга. В то же время ос-волны не являются выразителями чистого базального обмена, поскольку они, как правило, исчезают во время сна. Связь их с состоянием покоя и недеятельности, с одной стороны, с другой же — то обстоятельство, что в бодрственном состоянии их не удается подавить более чем на несколько десятков секунд, после чего они прорываются вновь с такой же неукоснительностью, как задержанное дыхание, свидетельствуют с наибольшей вероятностью именно об их ассимилятивной роли. Во сне их нет именно потому, что при отсутствии диссимиляции нет необходимости в ассимиляции¹.

¹ По вопросу о причинах высоких амплитуд а-волн в электроэнцефалограммах, в отличие от характерной для периферических палеопротексов низковольтное™ — см. мою статью: Назревшие вопросы современной нервной физиологии // Физиологический журнал СССР. — 1945. — № 5-6.

Еще одно явление, нередко явственно выступающее на электроэнцефалограммах, уже совсем отчетливо говорит о регуляционном и именно электротоническом характере влияния палеокинетического а-процесса на тетанические р-спайки. На очень многих электроэнцефалографических записях можно видеть, что всякий раз, как медленная волна сс-ритма поднимается кверху, в область электроотрицательных (катэлектротонических) потенциалов, амплитуды нанизанных на нее р-спайков увеличиваются; наоборот, в углублениях медленной а-кривой, т. е. в анэлектротонических фазах, р-спайки становятся мельче или даже исчезают вовсе (М. Н. Ливанов). Трудно было бы придумать более выразительную и наглядную иллюстрацию сосуществования палео- и неопроцессов и электротонического регуляционного влияния первого на второй. Анэлектротонические долины могут достигать такой глубины, что она вызывает полное тормозное блокирование «спайкового» процесса на все то время, пока эти долины делятся. Такое явление было действительно обнаружено на спинном мозгу в 1935 г. Вагтон и Matthews и приписано им действию некоего «интермиттирующего фактора» (intermittent factor); это дало палеорегуляционному процессу еще одно, $(n + 1)$ -е, имя, в чем он вряд ли так уж остро нуждался.

Фундаментальным процессом, определяющим собой координационную функцию рубро-спинального уровня, является, конечно, процесс осуществления сензорных коррекций, приходящихся на его долю. Как уже было показано в гл. II, напряжение мышцы есть величина, определяющаяся уравнением с двумя неизвестными; оно зависит: 1) от физиологического состояния мышцы (того, что можно назвать механической мерой ее возбуждения) и 2) от ее наличной длины (и еще скорости деформации). Текущее значение второй переменной, непосредственно не подвластной центральной нервной системе, сигнализируется ей через проприоафферентацию; и задача центральной нервной системы — подставить в уравнение такое значение первой переменной, т. е. так

оформить возбудительный процесс в мышце, чтобы результирующее решение уравнения дало величину механического усилия, как раз требуемую по условиям движения. Это и есть то, что уровень A делает непрерывно, от миллисекунды к миллисекунде; и мы знаем теперь, как именно он это делает. Он не добавляет к неокинетическому процессу, текущему транзитом через его эффекторный субстрат, ни одного лишнего спайка, но все время дозирует электротоническим путем эти тетанические гребешки, что, кстати сказать, он может делать трояко. Во-первых, он может непосредственно *воздействовать на амплитуды* спайков этих гребешков, создавая для них ту или другую электротоническую подкладку; во-вторых, может создавать в том или ином процентре мотоноров *временную синоптическую непроводимость* — либо посредством гетерохронизма, либо путем включения «интермиттирующего фактора»; наконец, в-третьих, может еще непосредственно и очень гибко регулировать механическую сторону *мышечного тонуса*¹.

Очень важно указать, что красное ядро является окончательным эффектором — так сказать, последним каскадом — экстрапирамидной эффекторной системы, от которого начинается конечный общий путь всей этой системы, спускающийся к клеткам передних рогов, — рубро-спинальный тракт Monakow. Нервный процесс, нисходящий по этому тракту и возникающий в образованиях экстрапирамидной системы, striatum и palHdum, разумеется, есть неокинетический, тетанический процесс, и красное ядро должно обладать предпосылками к его передаче, даже если бы само оно в норме могло издавать только палеокинетические звучания. Очень вероятной предпосылкой такого рода является наличие в его составе крупноклеточного каудального ядра, от ко-

¹ Кажущаяся четвертая возможность — повлиять на амплитуды тетанических спайков путем создания затрудненных условий проводимости в синапсах — в действительности отпадает в силу закона «все или ничего» и бездекрементности проведения не о возбуждения: если проводимость синапса клетки переднего рога и будет ослаблена, то это никак не почувствуется уже в нескольких миллиметрах вниз от него по течению.

Еще одно явление, нередко явственно выступающее на электроэнцефалограммах, уже совсем отчетливо говорит о регуляционном и именно электротоническом характере влияния палеокинетического а-процесса на тетанические Р-спайки. На очень многих электроэнцефалографических записях можно видеть, что всякий раз, как медленная волна с-ритма поднимается кверху, в область электроотрицательных (катэлектротонических) потенциалов, амплитуды нанизанных на нее р-спайков увеличиваются; наоборот, в углублениях медленной а-кривой, т. е. в ее анэлектротонических фазах, р-спайки становятся мельче или даже исчезают вовсе (М. Н. Ливанов). Трудно было бы придумать более выразительную и наглядную иллюстрацию сосуществования палео- и неопроцессов и электротонического регуляционного влияния первого на второй. Анэлектротонические долины могут достигать такой глубины, что она вызывает полное тормозное блокирование «спайкового» процесса на все то время, пока эти долины длятся. Такое явление было действительно обнаружено на спинном мозгу в 1935 г. Ватсон и Matthews и приписано ими действию некоего «интермиттирующего фактора» (intermittent factor); это дало палеорегуляционному процессу еще одно, $(n + 1)$ -е, имя, в чем он вряд ли так уж остро нуждался.

Фундаментальным процессом, определяющим собой координационную функцию рубро-спинального уровня, является, конечно, процесс осуществления сенсорных коррекций, приходящихся на его долю. Как уже было показано в гл. II, напряжение мышцы есть величина, определяющаяся уравнением с двумя неизвестными; оно зависит: 1) от физиологического состояния мышцы (того, что можно назвать механической мерой ее возбуждения) и 2) от ее наличной длины (и еще скорости деформации). Текущее значение второй переменной, непосредственно не подвластной центральной нервной системе, сигнализируется ей через проприоафферентацию; и задача центральной нервной системы — подставить в уравнение такое значение первой переменной, т. е. так

оформить возбудительный процесс в мышце, чтобы результирующее решение уравнения дало величину механического усилия, как раз требуемую по условиям движения. Это и есть то, что уровень А делает непрерывно, от миллисекунды к миллисекунде; и мы знаем теперь, как именно он это делает. Он не добавляет к некинетическому процессу, текущему транзитом через его эффекторный субстрат, ни одного лишнего спайка, но все время дозирует электротоническим путем эти тетанические гребешки, что, кстати сказать, он может делать трояко. Во-первых, он может непосредственно *воздействовать на амплитуды* спайков этих гребешков, создавая для них ту или другую электротоническую подкладку; во-вторых, может создавать в том или ином процентре мотоннов *временную синаптическую непроводимость* — либо посредством гетерохронизма, либо путем включения «интермиттирующего фактора»; наконец, в-третьих, может еще непосредственно и очень гибко регулировать механическую сторону *мышечного тона*¹.

Очень важно указать, что красное ядро является окончательным эффектором — так сказать, последним каскадом — экстрапирамидной эффекторной системы, от которого начинается конечный общий путь всей этой системы, спускающийся к клеткам передних рогов, — рубро-спинальный тракт Monakow. Нервный процесс, нисходящий по этому тракту и возникающий в образованиях экстрапирамидной системы, striatum и pallidum, разумеется, есть некинетический, тетанический процесс, и красное ядро должно обладать предпосылками к его передаче, даже если бы само оно в норме могло издавать только палеокинетические звучания. Очень вероятной предпосылкой такого рода является наличие в его составе крупноклеточного каудального ядра, от ко-

¹ Кажущаяся четвертая возможность — повлиять на амплитуды тетанических спайков путем создания затрудненных условий проводимости в синапсах — в действительности отпадает в силу закона «все или ничего» и бездкрементности проведения неовозбуждения: если проводимость синапса клетки переднего рога и будет ослаблена, то это никак не почувствуется уже в нескольких миллиметрах вниз от него по течению.

торого и начинается преобладающая часть аксонов монаховского тракта; в составе включенного параллельно с ним ядра substantia nigra также имеется крупноклеточная часть, архитектонически близкая к pallidum и связанная с центробежными проекционными путями. Но, кроме этого, функционально и сам уровень А, по крайней мере в патологических случаях, несомненно, в состоянии генерировать неокинетический процесс, хотя бы в явлении «тремора покоя», о котором речь будет идти ниже.

Вряд ли можно уверенно найти у здорового человека хотя бы одно *самостоятельное движение*, возглавляемое уровнем палеокинетических регуляций как ведущим. Наиболее чистые случаи самостоятельных выступлений этого уровня, когда в силу его роли, в принципе несомненно фоновой, он все же выдвигается на передние планы, — это, во-первых, непроизвольные дрожательные движения: дрожь от холода, стучание зубами от страха, вздрагивание и т. п., а в области произвольной моторики — *быстрые ритмические вибрационные движения* по механизму «рефлекторного кольца»; во-вторых, движения, связанные с *принятием и удержанием определенной позы*. К первым относятся, почти несомненно, быстрейшие фортепианные «vibrato» со скоростью 7–8 ударов в секунду, в тех случаях, когда они протекают по типу вынужденно колебательных движений (рис. 17)¹, пальцевые вибрации левой руки у скрипачей и виолончелистов; может быть, быстрые автоматизированные прослушивания обмахивания веером и т. п. Вторая группа яснее всего наблюдаема тогда, когда уровень А оказывается в ведущей роли в одной из фаз сложного цепного двигательного акта: например, в полетной фазе прыжка в воду (рис. 18 и 19) и т. п. Из характерных патологических проявлений первой группы движений, где уровень Л выступает в действительно чистом ведущем виде, должен быть назван «тремор покоя» паркинсоников, непроиз-

¹ Рис. 16 не помещен, в тексте ссылка у автора отсутствует: рис. П не помещен. — Прим. ред.



Рис. 18. «Соскок прогнувшись» в исполнении спортсменки А. К. на конкурсе журнала «Гимнастика» (1937)

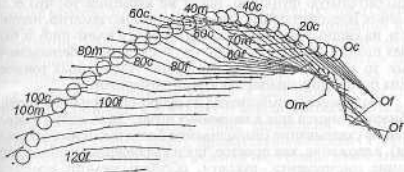


Рис. 19. Фигурки последовательных положений тела при стартовом прыжке в воду. Прорисовка по киноснимку. Вероятный случай более или менее чистого ведущего положения уровня Л (работа С. Щипчина, ЦНИИФК, 1939 г.)

вольный, четко ритмичный, протекающий по безукоризненно правильным синусоидам (рис. 23)¹.

Зато реализуемые этим уровнем *технические фоны* настолько многообразны, что невозможно представить себе ни одного двигательного акта вышележащих уровней, который не был насыщен ими в виде как симультанных, так и сукцессивных составляющих. Основной фон, обеспечивающий возможность какого бы то ни было движения, есть *фон гибко ре-*

¹ Рис. 20–22 не помещены, в тексте ссылка у автора отсутствует. — Прим. ред.

активного тонуса всего мышечного массива тела, — тот самый фон, нарушение которого при очаговых поражениях этого уровня дает так называемый амнотатический (нарушающий мышечную статику) симптом око мплекс. Уже очень многие авторы подчеркивали, что тонус скелетной мускулатуры чрезвычайно подвижен, реактивен и приспособителен и представляет собой фон как самый глубинный и основной для перспективы всей картины, так и самый древний по филогенезу. Интересно, что в исполнение этой роли «фона всех фонов» палеокинетический процесс рубро-спинального уровня принес с собой с палеотерритории еще одно характерное свойство, оживающее перед нами в моторике низших беспозвоночных: статокинетическую, формоприспособительную функцию. Всего же курьезнее то, что если высшее млекопитающее (это особенно ярко заметно, например, на хищных кошачьих) когда-нибудь и в чем-нибудь бывает похоже своей моторикой на бесскелетных беспозвоночных, то это именно в области шейно-туловищных тонических рубро-спинальных движений позвоночника.

Статические компоненты из рубро-спинального уровня обналичиваются еще в хваточных позах. Здесь подразумевается не схватывание (выполняемое более высокими уровнями), а держание, как простое, так и квалифицированное держание инструмента, рукоятки, обрабатываемого предмета и т. п. В этих тонически поддерживаемых позах очень ярко проступает снова формоприспособительная, пластическая (в кинематическом смысле слова) функция этого уровня; к ней относится, например, отмеченный Bethe принцип пластического сопряжения (*Prinzip dergleitenden Kopplung*) пальцев руки, которому он старался подражать в своих кистевых протезах (рис. 74 и 75).

Кинетические фоновые слагающие этого уровня проявляются в целом ряде ритмических произвольных движений высших уровней, сказываясь в виде примеси к ним типа вынужденных колебаний. Они хорошо выражены в движениях руки с молотком при ритмическом процессе рубки зубилом, в движениях крыла птицы при полете (как это вытекает из

анализа записей *E. Magey*), движениях рук и ног при локомоциях и т. д.¹ Быстрая сходимость рядов *Fourier*, интерпретирующих живые ритмические движения, есть, по-видимому, очень надежный признак наличия в данном движении кинетических компонент из этого уровня. Если в быстрое ритмическое движение вовлечена несложная кинематическая цепь, например одна только кисть руки (катание пилы по паркинсоновым) или только просупинационная система (обмахивание веером), то движения, управляемые этим уровнем, представляют собой почти чистые синусоиды.

Патологические нарушения работы рубро-спинального уровня проявляются прежде всего в расстройствах по линии тонуса — дистониях. Общеизвестное явление децеребрационной ригидности, возникающее у млекопитающих при перерезке мозгового ствола ниже уровня красных ядер и сводящееся к исчезновению функциональной субординации и к застыванию тонуса мышц на некоей стационарной формуле (различной у разных видов животных), обусловливается падением функций именно этого уровня. У человека, как уже сказано, дисфункция уровня *A* дает амиостатический симптомокомплекс; в тяжелых случаях она может давать явления резкой общей гипертонии, катаlepsии, «восковой гибкости» (*flexibilitas cerea*). Дрожательный паралич *Parkinson* есть сводка целого ряда явлений нарушения в описываемом уровне, по преимуществу явлений *гипердинамии* в связи с утратой регуляции сверху. Расстройства распределения и приспособительной реактивности мышечного тонуса очень часто сопровождают нарушения в других, вышележащих уровнях, но всегда свидетельствуют о втягивании в болезненный процесс рубро-спинального уровня — абсолютного монополиста по тонусу во всей центральной нервной системе. Здесь могут иметь место как гипо-, так и гипертониче-

¹ См. наши экспериментальные исследования перечисленных движений

и их анализы.

² Заметим для последующего, что типические нарушения в следующем кверху уровне синергии *W* удобно обозначать как *асинергии* и *диссинергии*, нарушения в уровне *C* — как *атаксии* и *дистаксии*, наконец, нарушения в предметном уровне *D* — как *апраксии* и *диспраксии*.

ские синдромы всего чаще синдромы не столько количественного сдвига тонуса в ту или другую сторону, сколько нарушений его рефлекторной, приспособительной регуляции. Атаксия при спинной сухотке захватывает более высокий уровень построения С (см. ниже), но всегда сопровождается явлениями расстройств тонуса — гипотонии, идущими из описываемого уровня.

Следующим характерным проявлением дисфункции уровня А являются *треморы*, а именно обе наиболее типические разновидности треморов, фигурирующие в семиотике нервных болезней. Показателем *гиперфункции* эффекторов уровня А является упоминавшийся уже *тремор покоя* – неотъемлемая часть паркинсонизма, частый, но неторопливый (8–10 Гц, а-ритм, любопытным образом совпадающий с а-ритмом Бергера), ритмичный, монотонный, запечатлевающийся на циклографических снимках в виде идеально правильной синусоиды (рис. 23). Этот тремор может постигать и голову, и дистальные звенья всех конечностей. Во время выполнения произвольных движений он либо скрадывается, ступеньвается на их фоне, либо же и в самом деле затихает¹.

Гипофункция рубро-спинального уровня проявляется в виде значительно более интересного феномена интенции-ного тремора. Во время покоя больного тремор этот в противоположность предыдущей форме отсутствует; но достаточно больному начать какое-либо движение или даже только намереваться начать его (*intentio* — намерение), как тотчас же пораженная конечность впадает в состояние неправильных, суетливых, непослушных колебаний. Чем больше ста-

Близость паркинсонического «Rubetremor» с α -ритмом потенциалов мозга не ограничивается сходством частот обоих явлений, которое легко бы было объяснить. Как тот, так и другой феномен: а) исчезают во время сна; б) проявляются яснее всего при полном покое; в) исчезают с началом активной деятельности; д) могут при продолжении деятельности прорываться вновь. В этом явном родстве еще одно подтверждение палеокинетической феномена. Электр о ми о графическая картина тремора покоя — интермиттирующие ритмические залпы спайков, прямо говорящие о вышеупомянувшейся периодической центральной блокировке.

рается пациент затормозить свой тремор, тем сильнее он разгорается (рис. 24).

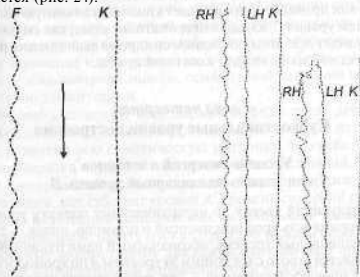


Рис. 23. Кимосциклограмма паркин- Рис. 24. Кимсциклограмма интенционного
тонического тремора кисти как тип тремора обеих рук у пациента, страдающего
сж, TM «ль»ого д.»»=., . да- [^] _{TM} Гл «TM % ». ГТ"Т _{TM} TM ? Г"

Отметим чисто синусоидальный характер кривой (большая проф. *М. Гуревича*, работа автора, 1924 г.)

Суть интенционного тремора, легко понятная в свете излагаемой здесь теории координации, в нарушении или полном выпадении функции реципрокной иннервации и денервации antagonистов. Если в норме эффекторный импульс, направившийся в мышцу P , тем самым автоматически отключает ее антагониста, мышцу Q , создавая гетерохронические условия на синапсах ее мононевронов, то при выпадении механизма реципрокности эффекторный процесс затекает в оба антагониста разом; затекает, разумеется, дезорганизованно, без какой-либо взаимной дозировки, вызывая этим борьбу между обоими, проявляющуюся в виде колебательных бросков конечности то в одну, то в другую сторону.

Так же, как и ранее упоминавшийся симптом гипопункции уровня *A* — гипотония, — описываемый интенционный тремор, как правило, сопровождается атаксией, связанную с поражением уровня *C*; каждый невропатолог знает, как сильно он затрудняет при этом последний синдроме выполнение пальце-носовой или пяточно-коленной пробы.

>

Глава четвертая

Субкортикальные уровни построения

Уровень синергии и штампов', или таламо-паллидарный уровень *B*

Следующий сверху по иерархическому порядку уровень построения есть уровень синергии и штампов, иначе — таламо-паллидарный уровень, обозначаемый нами буквой *B*. Он не является строго следующим за уровнем *A* по хронологическому порядку филогенеза — это доказывается хотя бы уже тем, что уровень палеокинетических регуляций с самого начала имел, очевидно, что регулировать в виде какого-то неокинетического потока, транзитом протекающего через его субстраты, и у высших позвоночных как раз доставляемого pallidum. Таким образом, с одной стороны, субстраты уровня *A* у высших позвоночных филогенетически новее, нежели субстраты уровня синергии, поскольку древнейшие отправления уровня *A* сравнительно недавно обрели себе новое анатомическое обиталище в виде группы красного ядра и hypothalamii, переключившись туда из глубин спинного мозга. С другой же стороны, отправления уровня синергии, 5 филогенетически более новы. Это проявляется, во-первых, в том, что этот уровень позднее, чем *A*, достигает в филогенезе культиминационных точек своего развития; во-вторых, в том,

что уровень *B* есть, так или иначе, первый во всем филогенезе настоящий неокинетический уровень, реализующий эффекторику посредством тетанических, спайковых процессов; наконец, в-третьих, в том, что самый принцип его работы новее, чем тот, который характеризует функцию уровня *A*. Если уровень *A* есть в наибольшей мере уровень *моторики туловища* и его сегментов, то уровень *B* есть уровень тела — *локомоторной мышцы*, оснащенной четырьмя конечностями — движителями.

Уровень синергии есть первый в филогенезе действительно централизирующий, возглавляющий на одной из ступеней развития всю соматическую моторику. Его субстрат — древнейший в морфогенезе позвоночных настоящий головной, центральный мозг, а не только головной отрезок спинного мозга, как субстрат уровня *A*. Уровень синергии осуществляет интеграции выполняемых им процессов, чрезвычайно обширные по охвату мускулатуры; он рожден спросом на целостные локомоторные движения, хотя по ходу прогрессивной энцефализации управление ими в дальнейшем ушло от него сверху. В отношении огромных синергетических хоров, которыми он в состоянии дирижировать, этот уровень представляет собой некоторую вершину, после которой эволюция делает в известном смысле шаг назад: следующий сверху и заведомо более новый уровень *C* (см. гл. V) несравненно скорее и сдержаннее описываемого по части симультанно включаемых в движение конечностей и мышечных групп.

Анатомический субстрат уровня синергии у высших млекопитающих и человека — две пары самых крупных в головном мозгу подкорковых ядер: зрительные бугры (thalamii optici) в качестве афферентационных центров и бледные тела (globi pallidi, pallida) в качестве эффекторных (рис. 25 и 25а). В зрительные бугры сходятся вторые, считая от периферии тела, нервные всей проприоцептивной тангорецепторики. Сензорные пути телерецепторов обоняния, слуха и зрения

¹ В англо-американской литературе для штампов этого рода применяется название «patterns» (узоры, стандартные образцы, модели и т. п.) — слово очень меткое, но, к сожалению, не имеющее точного русского синонима.

"в древнем, ни в новом филогенезе не имели прямого отношения к этому образованию.

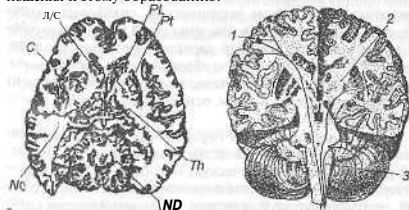


Рис. 25. Горизонтальный срез тол овн ого Рис. 25а. Разрез тол овн ого человека на небольшом расстоянии от его ка сверху, спереди вниз и назад: основания: NC — головная и хвостовая пирамида; Th — таламус; G — гипоталамус; L/S — лобный синапс; ND — неокортекс; 1 — паллидо-рубро-спинальный путь; 2 — паллидо-рубро-спинальный путь; 3 — паллидо-рубро-спинальный путь.

***а Е. Ваши

Thalamus opticus — • древнейший и когда-то, до развития и бы большого мозга, высший центр всей тангорецепторики, являющийся и до настоящего времени «центральной периферической мастерской чувственных впечатлений» (выражение Monakow.) Между зрительным бугром и pallidum имеются очень богато представленные двусторонние проводниковые связи. Pallidum есть чистый эффектор очень гомогенного микроскопического строения (см. гл. VII), являющийся средним этажом экстрапиримидной эффекторной системы. Ему иерархически подчинен нижний этаж этой системы — уже рассмотренная выше группа красного ядра; сам он подчинен другому большому подкорковому эффектору — полосатому телу (corpus striatum — образование, состоящее из ядер nucleus caudatus и putamen). Центробежные пути pallidum все оканчиваются в пределах группы красного

ядро и не имеют собственных выходов к клеткам передних рогов спинного мозга.

Характеристическая ведущая афферентация таламо-паллидарного уровня есть, как и для предыдущего уровня, по преимуществу проприорецепторика, но уже содержащая совершенно другие компоненты и имеющая иной стиль, нежели проприорецепторика уровня А. Во-первых, судя по характерным для уровня В движениям, здесь преобладает новая, суставно-угловая, геометрическая проприорецепторика скоростей и положений, к которой присоединяется еще обширный комплекс общей экстероцептивной чувствительности, как протопатической (рецепции давления, глубинного осязания), так и эпикритической (дифференцированные осязательные рецепции прикосновения, трения, болевая, вибрационная и температурная чувствительность, с присутствующими этим рецепциям точными «местными знаками»). Во-вторых, все эти рецепции, как чисто проприоцептивные, так и восполняющие их экстероцептивные осязательные, ведут в этом уровне построение, зашифровку и коррекцию движения, уже подвергшись предварительно значительной центральной переработке и синтезу, намного более сложному и дифференцированному, чем примитивный синтез рубро-спинального уровня. Ощутимых связей с вестибулярной системой у описываемого уровня не имеется.

Если какой-нибудь из сенсорных синтезов, управляющих координацией различных уровней центральной нервной системы у человека, можно с полным правом назвать проприоцептивным, то это именно рассматриваемый синтез таламо-паллидарного уровня. Если обобщить всю характерную для описываемого уровня афферентацию, то это окажется афферентация собственного тела, проприорецепторика par excellence. Тело в этом уровне построения есть и исходная система координат, к которой соотносятся рецепции и движения, и конечная цель этих рецепций и движений. Объединяясь вместе, образуя попутно местными знаками и обобщаясь по какой-то единой для всех сигналов системе коор-

динат собственного тела, все эти бесчисленные тактильные и проприоцептивные рецепции срываются в исключительно полную и обстоятельную информацию об его двигательном аппарате. Это налагает характерный отпечаток и на движения, выполняемые этим уровнем: это обычно движения всего тела, лишь с ним одним связанные, безотносительные к чему-либо, находящемуся вовне; движения как самоцели, корригируемые основным образом лишь по линиям своей внутренней гармонии и организованности. Они заслуживали бы по аналогии с наименованием корригирующего их сенсорного синтеза названия *проприомоторных* отправлений и реакций. Зато при указанных ограничениях эти проприомоторные двигательные проявления достигают очень высокого развития и дифференциации. К ним применялось много различных названий: двигательные формулы, синергии, узоры или штампы (patterns), низшие автоматизмы и т. д.

За таламо-паллидарной системой, уже довольно давно и хорошо изученной, числятся *три важнейших координационных качества*, отличающие ее от других кинетических систем человеческого организма.

Первое из них есть приспособленность уровня *Вк обширным мышечным синергиям*, т. е. способность вести высокослаженные движения всего тела, вовлекающие в согласованную работу многие десятки мышц. Очаговые поражения этой системы, как thalainus, так и pallidum, влекут за собой характерные диссинергии, т. е. выпадения подобных ансамблевых движений, с суррогатной, विकарной заменой их скованными, принужденными, неловкими движениями, наблюдаемыми, например, у паркинсоников.

Было вполне естественным с классической точки зрения делать ответственным как за эти синергии в норме, так и за их выпадения в патологических случаях pallidum как основной эффектор системы. Именно в нем, то в его цитоархитектонике, то в его проводящих путях, то даже в особенностях его биохимизма, пытались искать объяснения подобной таинственной способности, недоступной больше ни одному из

эффекторов центральной нервной системы. И только излагаемая в этой книге теория координации как процесса, целиком базирующегося на принципе сенсорных коррекций, повернула вопрос на 180° и устремила решающее внимание не на эффектор системы pallidum, а на ее афферентацию, и тогда очень многое стало ясным. Очевидно, pallidum способен легко, стройно и плавно вести сложные синергии обширных кинематических цепей прежде всего потому, что больше ни один эффектор нашего тела ни из вышележащих, ни из низовых этажей мозга не имеет и не может иметь такой полной и обстоятельной и притом в такой же мере из первых рук полученной информации о положениях и движениях собственного тела, как та, которую pallidum получает от системы зрительного бугра. Его координации «проприомоторные» по своему характеру и смыслу именно потому, что их ведет и корригирует главное проприоцептивное ядро центральной нервной системы, совершенно оторванное у вышних млекопитающих и человека от дистантных рецепторов, но зато централизующее в себе все то, что связано с собственным телом и его контактными ощущениями.

В гл. II уже было указано, что непослушность и трудная управляемость кинематических цепей бурно возрастает с увеличением количества степеней свободы цепи, т. е., в частности, с увеличением числа входящих в нее сочленений, вследствие того, что при этом очень интенсивно возрастают и усложняются реактивные силы, сбивающие движение цепи. Имея в своем распоряжении быстроту (с минимальным числом синаптических задержек) и полную афферентную сигнализацию обо всех динамических явлениях на периферии тела, таламо-паллидарный уровень имеет все возможности к своевременному парированию этих сил и к превращению кинетической цепи в управляемую систему. Огромные осложнения, привносимые реактивными силами во всякое движение, позволяют высказать в виде общего утверждения, что трудно не управление зараз тридцатью мышцами, а трудно управление зараз тремя сочленениями одной цепи. По-

нятно, что уровень синергии, всегда будучи в состоянии на ходу решать более трудную часть задачи — преодоление реактивных сил и simultанное управление многозвенными маятниками конечностей, попутно уже с легкостью разрешает и более простую часть той же задачи — управление десятками протагонистов, антагонистов и синергетов.

Второе координационное качество, характеризующее стиль работы уровня *B*, есть способность столь же стройно и *надаженно вести движение во времени*, обеспечивать правильные чередования, например, перекрестные чередования движений всех конечностей при локомоциях, объединять в общем ритме, соблюдаемом с точностью до миллисекунд, движения многозвенных маятников конечностей, имеющих очень многообразные и сложные спектры собственных частот колебаний, и т. д. Это качество состоит, очевидно, в самом тесном родстве с первым. Следует добавить только, что и смысловая сторона движений уровня *B*, направленных на собственное тело и безотносительных к внешнему миру, и естественно напрашивающаяся для них (в силу строения наших конечностей) периодическая, повторительная форма приводят к заметной склонности уровня синергии к ритмическим, качательным, повторным движениям с очень разнообразными и сложными, но точно воспроизводимыми от раза к разу ритмовыми узорами (см. ниже рис. 29—31). Вполне естественно, что среди движений, направленных на достижение какой-либо внешней цели (определенной точки внешнего пространства, прикосновения к внешнему объекту и т. д.), будет гораздо больший процент таких, в которых по достижении цели конечное реле центральной нервной системы срабатывает на остановку, нежели среди самодовлеющих движений, связанных только с собственным телом. Здесь, наоборот, за отсутствием смыслового, внешнего конца и при наличии множества кинематических и эластических предрасположений к возвратным движениям очень легко могут появляться замыкания конечных реле на обратный ход. И в области ритмического построения описывае-

мый уровень обладает высокорасчлененной и совершенной техникой, превосходя в этом отношении все другие уровни построения.

Сказанное выше о концевых переключениях должно, как нам кажется, уяснить вопрос о природе ритмических и циклических движений вообще. Очевидно, ни один какой-либо уровень построения не может иметь основания к монополизму по части ритмических и циклических движений, и ни одно движение (за исключением, может быть, только элементарнейших треморов и вынужденных упругих колебаний из уровня *A*) не обладает обязательной, имманентной циклическостью, свойственной самому его моторному существу. Циклическость может встречаться и встречается в действительности на каждом из уровней, ритмичность — тоже, и решение альтернативы, потечет ли движение по пути возвратов и повторений или исчерпается как однократное, *зависит не от его двигательной структуры, а только от его смыслового содержания*: в одних движениях преобладают мотивы к однократности, в других — к повторительности. Другое дело, что в разных уровнях и повторительные реле срабатывают по-разному, и ритмико-циклические качества в них получаются различными. Каждый уровень оформляет движения в своем особом ладу и тональности.

При выполнении фоновых компонент для движений вышележащих уровней уровень синергии точно так же большей частью берет на себя ритмические последования. Более того: он каким-то не вполне понятным путем создает и вносит внутренний, проприомоторный ритм в движения вышележащего уровня, ни смысловая задача которых, ни создаваемые ими сигнальные или пусковые афферентации не содержат в себе никаких предпосылок к ритму и повторности: например, в локомоции как перемещении всего тела к какой-то более или менее отдаленной пространственной цели. При некоторых формах поражений уровня синергии этот механизм перешифровки задачи неперiodического перемещения в форму ритмического шагания оказывается нарушен-

ным, и тогда получаются своеобразные случаи, когда пациент не в состоянии ступить ни одного шага по гладкому полу, но быстро и бойко шагает по лестнице, зрительное восприятие ступенек которой викарно замещает ему утерянный внутренний механизм, ритмизирующий внешнее аperiodическое пространство.

Наконец, третье свойство рассматриваемого уровня, заслуживающее упоминания, — это очень ярко бросающаяся в глаза наклонность его к штампам, к чеканной повторяемости движений, все равно, ритмических или однократных, но похожих друг на друга, как две монеты. И это хорошо известное неврологам свойство пытались объяснять какими-то особыми (впрочем, еще вполне гипотетическими) качествами pallidum как эффектора, тогда как фактически и здесь дело обстоит совершенно иначе.

Прежде всего необходимо напомнить, что внешние, а особенно реактивные силы при циклических движениях отнюдь не повторяются стереотипно от раза к разу. Наоборот, поскольку единый ритм вынужденного повторительного движения многозвенного маятника конечности необходимым образом не совпадает с большинством разнообразных собственных частот его составных элементов, постольку реактивные силы обязательно будут создавать с экзогенной частотой, сообщаемой звеньям через мышцы, очень сложные и изменчивые динамические интерференции. А это значит, что движения подобного многозвенного маятника смогут быть одинаковыми от раза к разу только в том случае, если активные мышечные динамические добавки будут приспособительно заметно отличаться друг от друга в последовательных циклах. Уровню синергии нужно все богатство и совершенство его таламических афферентаций, чтобы гибко лавировать между всеми этими реактивными силами и превращать их динамическую неурядицу в штампованный узор. Не будучи достаточно привычными к механике, невропатологи и не подозревают той огромной черновой работы, которая выпадает при этом на долю уровня V и молча, терпеливо

выполняется им в субкортикальных триумах мозга. Таким образом, менее всего приходится представлять себе pallidum в виде какого-то склада клише, которое он включает по требованию, точно очередные патефонные пластинки. Его движения только потому и могут быть столь стереотипными, что он сам совсем не стереотипен.

Действительные причины склонности уровня синергии к штампам вскрываются при более глубоком анализе физиологических и биодинамических закономерностей его движений. Откладываясь на анализ этого вопроса до гл. VHT, заметим пока, что по ходу выработки двигательного навыка совершается, как правило, ряд значительных качественных изменений в самых принципах управления осваиваемым движением. Для большинства крупных, глобальных движений, к которым преимущественно принадлежат управление описываемого уровня, а также для быстрых ритмических или однократных движений со значительными амплитудами возникающих при них инерционных сил могут быть найдены такие формы, при которых каждое отклонение движения от правильной траектории вызывает появление реактивных сил, стремящихся вернуть звено на его прежний путь. Если организму удастся найти такие структуры движения, которые в какой-то мере удовлетворяют этому определению так называемых *динамически устойчивых движений*¹, то ему уже не только не приходится активно парировать сбивающие реактивные силы физическими тетаническими заплами (как на более ранних стадиях выработки навыка), но, наоборот, он обретает возможность прямо использовать их к своей всеобщей выгоде. Как показывают точные циклограмметрические анализы, это приводит к двум результатам. Прежде всего, снятие активных усилий, затрачивавшихся на гашение реактивностей, уже само по себе создает заметную экономию как чисто энергетическую, так и инерционную, поскольку движение в соответствующих своих отрезках начи-

¹ Вгл. VII дается более подробная характеристика явления динамической устойчивости и приводится ряд биодинамических примеров движений этого рода.

нает течь само собой, не нуждаясь более в пристальном контроле и коррекции. А затем подобные динамически устойчивые формы — это, очевидно, формы, наиболее согласующиеся со строением кинематических цепей тела, а потому и наиболее экономичные сами по себе. Действительно, достижение такой стадии развития сопровождается одновременно и уменьшением количества силовых волн в циклограмметрических динамических кривых, и заметным снижением их амплитуд, т. е. существенным увеличением коэффициента полезного действия.

Ясно, что для каждой данной двигательной задачи не может существовать много подобных решений. Их, действительно, имеется либо по одному-единственному, либо, в лучшем случае, единицы на каждую задачу. По понятным причинам движения, близкие по форме к динамически устойчивым, но сами не являющиеся таковыми, будут насильственно загоняемы реактивными силами в траектории устойчивых движений. Это делает динамически устойчивые решения дискретными, разделенными между собой полями неустойчивых саморазрушающих форм, к тому же, вследствие своей трудной повторяемости, малодоступных заучиванию. Таким путем создается дивергенция устойчивых форм или стилей движения как при сознательной тренировке взрослых, так и при развитии у ребенка, например, ходьбы и бега, вначале взаимно неотличимых. Выработка и закрепление таких динамически устойчивых форм движений, автоматически отливающихся в небольшое разнообразие дискретных штампов, и приводят к образованию стойких рисунков или формул движения, характерных для талам-паллидарного уровня. Суть дела здесь не в эффекторных стереотипах, в которых раньше усматривалась разгадка паллидарных штампов и внутренняя противоречивость которых вскрыта выше. Действительная причина в том, что для огромных, сложных и гармоничных синергии, какими являются, в частности, локомоции, возможны и выполнимы лишь крайне немногие двигательные решения задачи об увязке между со-

бой фактической внешней цели движения, кинетической структуры двигательного аппарата и возникающей из их столкновения реактивной динамики.

При всем исключительном совершенстве афферентаций и богатстве координационных возможностей уровня синергии он сохранил у человека очень мало *самостоятельных, ведущихся на нем движений*. На первом месте среди них следует поставить «триаду»: движения *выразительной мимики, пантомимы и пластики*, т. е. совокупность не символических, а непосредственно эмоциональных движений лица, конечностей и всего тела. В очень большой мере сюда относятся, далее, движения хореографические — не столько западного, локомоторного, сколько восточного, пластического танца. В целом двигательный акт танда строится выше рассматриваемого уровня, как и все вообще движения с экзогенным ритмом. Уровень синергии при его бедных связях с телерецепторикой не приспособлен к использованию ни зрительного, ни слухового контроля и управления.

Почти не выходя за пределы характеризуемого уровня, протекают многие из движений *вольной бесснарядовой гимнастики*: наклоны корпуса, изгибы, откidyвания тела, разнообразные пластико-ритмические движения. Наконец, сюда же отойдет группа полунепроизвольных движений — потягивания всем телом, расправления членов, движений ласкания (объятия, поцелуи и т. д.), привычных монотонно-машинальных движений и т. п. Все движения этого рода плавны, гармоничны, обладают грацией даже у неграциозных людей. Если они ритмичны и повторны, то уже не по примитивной формуле синусоиды (как в уровне А), а по более замысловатым и разнообразным штампам (см. ниже рис. 29—31).

Процентное содержание самостоятельных движений этого уровня значительно выше в моторном инвентаре малых грудных детей, о чем будет речь в гл. VII. Из них заслуживает упоминания предшествующий развитию ходьбы билатеральный чередовательный рефлекс «шагания» (stepping) — ритмических дрыганий ногами при лежании на спине,

свидетельствующий о принадлежности к уровню синергии у человека важнейших фонов ходьбы, еще ухishных млекопитающих локализующихся не выше спинного мозга.

Для уяснения причин такой неожиданной бедности контингентов самостоятельных движений, ведущихся на уровне *B* у человека, необходимо указать, чего не хватает этому уровню для возможности самостоятельного выполнения большего количества движений. Как мы видели, слабая сторона уровня синергии заключается отнюдь не в однообразии или примитивности доступных ему движений: наоборот, это есть уровень «владения своим телом», способный находить и осуществлять огромное количество сложных рисунков движения, разнообразных и по конфигурации и по ритму и обладающих недосыгаемой для других уровней степенью слаженности. Далее, именно этот уровень благодаря своей особенно интимной и разносторонней связи с проприоцептивной афферентацией больше всех других приспособлен к обузданию реактивных сил и к созданию экономичных траекторий «динамически устойчивого» типа. Очень возможно, что и на обширнейшие синергии мышц он отваживается именно поэтому. Реальность синергии pallidi не в том, конечно, что он, как думают иные неврологи, умеет посылать какие-то особо сложные и искусные эффекторные импульсы, а в том, что его совершенно исключительная афферентация обеспечивает безукоризненную управляемость периферии. *Слабость уровня синергии не в качестве или недостаточности богатстве его афферентаций, а в их односторонности.* Ему не хватает дистантных рецепторов и их синтеза, ведущего к овладению внешним пространством. Его система координат привязана не к окружающему евклидову пространству — обширному, несдвигаемому и аperiodическому, — а к собственному телу. Это уровень слишком интравертирован. Он не годится ни в штурманы, ни в пилоты движения; он — его призванный бортмеханик.

Фоновая роль уровня синергии огромна и не уступает по своему значению роли уровня *A*. Будучи не в состоянии из-за 112

отрыва от телерецепторов и слабости связей с вестибулярной системой и мозжечком вести много самостоятельных движений, уровень синергии с готовностью берет на себя всю внутреннюю черновую технику сложного движения, если другой вышележащий и более экстравертированный уровень обеспечивает его приспособление к внешнему миру и внешним предметам. Таким путем уровень *B* обеспечивает всю внутреннюю координационную подкладку локомоторных движений — ходьбы, бега и т. д., полностью оформляя всю кинетику этих гигантских синергий, но, так сказать, в отвлеченном виде, вне конкретной обстановки. Ходьба должна совершаться куда-то, по какой-то поверхности, мимо каких-то препятствий, по неровностям, ступенькам, поворотам и т. п.; все это — вещи и мотивы, недоступные афферентаций данного уровня. Именно поэтому поражения striati влекут за собой распад ходьбы, хотя вся ее мышечная динамика реализуется таламо-паллидарной системой: выключение striati лишает ходьбу необходимого ей пилотажа, обрекая ее на холостой ход. Зато при интактности следующего кверху уровня пространственного поля *C* штампы и синергии разбираемого уровня обеспечивают протекание всевозможных движений уровня *C*: локомоций, перемещений и переносов, баллистических движений, метких подражательных и многих иных движений, о чем речь будет в следующей главе (рис. 26; рис. 27, не помещен. — *Прим. ред.*).

Вряд ли без фонового участия уровня синергии были бы мыслимы и многочисленные целевые двигательные акты, относящиеся к уровням выше *C*. Уровень синергии может участвовать в этих сложных движениях двояко: 1) или он уже упомянутым образом подкрепляет локомоцию в уровне *C*, а она в свою очередь обеспечивает технический фон для движения более высокого уровня построения — игры в теннис или футбол, работы сцепщика поездов или сталепрокатчи ка, движений военной атаки и т. п. (рис. 28, не помещен. — *Прим. ред.*); 2) или же он непосредственно создает те или иные фоновые компоненты для одного из высших уровней.



Рис. 26. Моментальный снимок позы при фигурному катании на коньках как характерный пример обширной синергии в уровне В (воспроизведено из журнала «Физкультура и спорт», 1936 г.)

Очень выразительным примером этого варианта взаимоотношений может послужить скоропись, т. е. автоматизированное письмо, более детальный анализ которого будет помещен ниже (см. гл. VIII). В этом акте очень ярко видны два одновременно работающих и в равной мере необходимых уровня (фактически в акте письма их больше), один из которых является ведущим, другой — техническим и подчиненным. Подчиненный уровень В дает в этом акте колебательную синергию предплечья, кисти и пальцев, обычно текущую с явственным ритмом и хорошо пропускающую при вступительных раскатах руки вхолостую, применяемых многими любителями своего почерка. Более высокие уровни D и E (см. гл. VI) накладывают на эти монотонные ритмические колыхания свои смысловые изменения, превращают их в ациклические и вяжут из них буквы и слова. Используя образ из области радиотехники, можно очень точно сказать, что смысловой уровень E модулирует колебания, задаваемые (неграмотным) уровнем синергии, подобно тому, как звуки речи, подаваемые в микрофон, модулируют монотонные вы-

сокочастотные колебания, генерируемые передатчиком, превращая их в ациклические и наделяя значением и смыслом.

В этом же варианте — модулирования монотонных синергий уровня В более высокими уровнями — протекает и большое количество трудовых и производственных движений, особенно из числа высокоавтоматизированных циклических процессов (рис. 29—32), о чем уместнее будет говорить при характеристике их едущих уровней.



Рис. 29. Кинематические движения рук при опиловке как тип характерной фоновой синергии в уровне В. Отметим чрезвычайную ритмичность и повторяемость узора движения при значительно большей сложности его контура по сравнению с синусоидальными треморами в уровне А (работа автора, 1924г.)

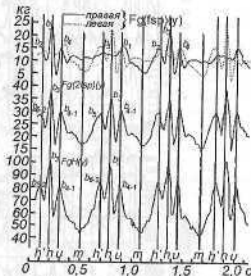


Рис. 30. Сложные ритмические и ациклические словесные узоры (рис. 29) при нормальной ходьбе человека. Непрерывные — кривые вертикальной слагающей усилий в центре — ступней и левой ноги, наложенные друг на друга. Посередине — вертикальная слагающая усилий в общем центре тяжести обеих ног. Внизу — вертикальная слагающая усилий в общем центре тяжести всего тела (работу автора, ВИАМ, 1935 г.)

Очень существенна роль синергии таламо-паллидарного уровня в автоматизации двигательных навыков. Автоматизация возможна в самых разнообразных уровнях и сводится к

-щи
М

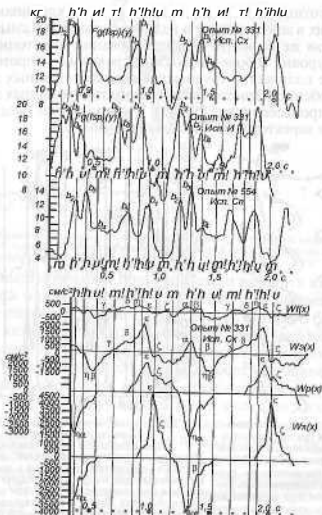


Рис. 31. Наверху — кривые вертикальной слагающей усилий в центре тяжести всей ноги при нормальной ходьбе человека (у трех разных испытуемых). Внизу — кривые продольных ускорений в основных пунктах ноги при нормальной ходьбе (сверху вниз): тазобедренное сочленение, коленное сочленение, голеностопное сочленение и кончик стопы. Кривые приводятся как образчик сложных ритмических силовых узоров, обеспечиваемых уровнем синергии (работа автора* ВИАМ,



Рис. 32. Кривые изменения углов руки при автоматизированном движении сгибания локтя.

Сверху вниз: а — угол приведения-отведения плеча, р — угол сгибания-разгибания плеча, у — угол ротации плеча, 8 — локтевой угол, Е — угол просутизации, С — угол сгибания и разгибания кисти а запястье, -п — угол приведения и отведения кисти. В движении отчетливо видна (фоновая) синергия первых четырех степеней свободы (а, Р, у, 5), дающих почти одинаковые между собой по форме кривые, несмотря на большое разнообразие и взаимную независимость управляющих ими мышц. Степени свободы Е и С, давая на протяжении первой трети движения свою отдельную прямую, на протяжении остальной части движений — обратную синергию (работа О. Зольцберга и автора, Московское научно-исследовательское бюро протезирования, 1939 г.)

передаче ряда технических координационных компонент двигательного акта в нижележащие, не сознаваемые в данный момент уровни (как указывалось, осознается всегда только ведущий уровень совершаемого движения, какова бы ни была его абсолютная высота). Очень выразительны и часты случаи автоматизации, связанные с переключениями компонент на уровень синергии. При этом либо в уровне *В* постепенно вырабатываются по мотивам и побуждениям ведущего уровня новые двигательные комбинации, новые синергии, которые и замещают собой первоначальные временные координационные построения на ведущем уровне данного движения; либо же, может быть, вырабатывается в иных случаях и умение использовать уже имеющиеся готовые автоматизмы из богатых фондов этого уровня.

В *патологических случаях* резко различны между собой картины возникают: 1) при гиперфункции (или выпадении) и 2) при гиперфункции данного уровня, обусловливаемой, как правило, выпадением верхнего экстрапиримидного этажа и осуществляемой им регуляции функций таламо-паллидарного уровня. Выпадение уровня *В* дает симптомокомплекс паркинсонизма, складывающийся из выключения отправления самого уровня синергии и из снятия его контроля над уровнем *А*, впадающим вследствие этого в состояние перевозбуждения (гипердинамии). При этом синдроме исчезают или резко убывают все те моторные проявления, которые представляют собой и самостоятельные, и фоновые двигательные отправления уровня *В*. За счет выпадения «триады» получается амимия, скованность позы, скудость жестов, отсутствие выразительных движений (см. рис. 20); подтверждающая теоретические воззрения James и Lange, беднеет в связи с этим и субъективная эмоциональная жизнь больного. Резко уменьшается количество автоматизмов. Выпадение фоновых синергии дает о себе знать в деавтоматизации как ходьбы, так и всевозможных предметных навыков: исчезновение упоминавшихся уже специфических для этого уровня механизмов ритмизирующей перешифровки в свою очередь раз-

118

рушает многие автоматизированные акты и, кроме того, способствует развитию персевераций, о которых будет сказано дальше. Расторможивание нижележащего уровня *А* приводит при этом к развитию общей ригидной гипертонии и треморов покоя.

Для каждого уровня построения, как это будет подробнее показано в гл. IX, характерны свои особые виды *персеверации*, т. е. невозможности по произволу прекратить раз начатое движение или ритмический процесс, изменить принятую позу и т. д. На уровне *А* такие персеверации обнаруживают себя в виде восковой, каталептоидной гибкости, застывания позы и т. д. На уровне синергии персеверации характернее всего проявляются в виде ослабления пусковых и останавливающих механизмов — тех самых начальных и конечных «реле», о которых выше уже была речь. В результате получается резкий паралич инициативы: затруднительно начать идти, не менее трудно остановиться, если уже пошел, и т. д. Если такого большого толкнуть назад или вбок, он пойдет задом или боком, испытывая большие затруднения, чтобы остановиться (так называемая ретропульсия и латеропульсия).

Патологическая гиперфункция уровня синергии сказывается в возникновении разнообразных гиперкинезов, избыточных синергий и синкинезий (под последними мы будем подразумевать совместные движения бесполезного, патологического характера). На первый план выступают непроизвольные рудиментарные движения, например, совокупность движений так называемого атетозного синдрома Foerster: фиксации, обхватывающие движения, хваточно-держательные жесты, реактивно-выразительные движения без цели и смысла, движения типа ползания и лазания. Вся совокупность нарушений этой группы заслуживает названия гиперкинетической диссинергии (рис. 33; рис. 34—36, не помещены. — *Прим. ред.*).

Возникающая в результате тех или иных растормаживающих болезненных процессов гиперфункция уровня *В* как бы



Рис. 33. Моментальный снимок руки при атетозе (по Monakow, из руководства L. Mohr и R. Staehelin)

распахивает двери филогенетического зверинца, глубоко застенного в норме. И тогда из глубин моторики вылезают уродливые, гротескные фоны без фигур и передних планов, без смысла и адекватности: всяческие торзионные спазмы, обломки древних движений, атетозы, хорей, непроизвольные рычания и вскрикивания — психомоторные химеры, безумие эффекторики.

Глава пятая

Кортикальные уровни построения

Пирамиде-стриальный уровень пространственного поля С

Уровень пространственного поля, как мы его называем по его наиболее характерной черте, — он же пирамидно-стриальный уровень С — представляет собой очень сложный и, по-видимому, далеко не вдруг оформившийся объект. Насколько сейчас возможно судить, это скорее всего не один, а нечто вроде двух раздельных уровней, один из которых в какой-то мере подчинен другому. Это утверждение подкрепляется и тем, что анатомические приборы, обеспечивающие его работу, имеют далеко не одинаковый филогенетический возраст. Одна-

ко бесспорно, что это не два самостоятельных, независимых образования; их функциональная слитность заставляет описывать этот уровень как нечто целое, только со ссылками там, где это необходимо, на подуровни C1 и C2. Уровень С представляет несомненный интерес и для психолога ярко выразившейся в нем той формой афферентной сигнализации, которая получила выше (см. гл. II) обозначение сенсорного синтеза, или сенсорного поля, и для физиолога и невропатолога своей слитной двойственностью и тем, что составляет характерную особенность его координационных отклонений: вериативностью и пластичностью¹.

Сложная структура уровня пространственного поля проявляется прежде всего в том, что он имеет два выхода на эффекторную периферию: и пирамидный, и экстрапирамидный. Проводимое классической неврологией противопоставляющее разделение всей моторики на пирамидную и экстрапирамидную не совпадает своими границами с водоразделом между описываемыми в этой книге уровнями построения, пролегающим более или менее точно между striatum и pallidum. Грань между пирамидной и стриальной (экстрапирамидной) системами не стерта, однако, в функции уровня Си проявляет себя в разделении двух вышеуказанных подуровней, отличающихся один от другого и по оттенкам структуры их сенсорных полей, и по контингентам реализуемых ими движений, и по филогенетическим биографиям обоих.

Уровень С резко отличается от предыдущего уровня синергии как по ведущей афферентации, так и по смысловому содержанию свойственных ему движений и целому ряду их внешних характеристик. Ведущая афферентация этого уровня есть *синтетическое пространственное поле*.

¹ Очень напрашивается предложение, что указанная двойственность субстратов уровня С у человека обуславливается переживаемым им в настоящее время *энцефализационным переходом* из экстрапирамидной системы в пирамидную. Конечно, этот процесс протекает настолько медленно, что его невозможно непосредственно заметить; но, видимо, через соответственное количество тысячелетий этот уровень, у птиц и низших млекопитающих еще полностью стриальный, окончательно переклится у человека в кору полушарий.

Выше уже говорилось о том, что для высокоорганизованных уровней построения не приходится понимать под афферентацией первичную, сырую рецепторную. Уже при описании уровня синергии мы имели случай упомянуть о том, что его ведущая афферентация формируется в результате синтетической переработки первичного сенсорного материала в системе подкорковых ядер. Афферентации позы, реактивной динамики, угловых скоростей зреньев и систем тела представляют собой синтезы первичных проприо- и тангорцептивных ощущений, обросшие отметками местных знаков и упорядоченные в какой-то единой для всего тела системе координат. Значительно более синтетична, обобщена и, главное, объективирована афферентация уровня пространственного поля *C*. В ее состав мощной струей вливается кортикальная слагающая, правда, пока еще в виде самых периферийных полей коры, ее «входных и выходных ворот», по выражению Мопакow. Ее *первичные* сенсорные станции в коре больших полушарий таковы: зрительные поля (*area striata*, 17 и 18 *Brodmann*), осозательно-проприоцептивные (заднецентральная извилина, *Brodmann*), видимо, в какой-то мере слуховые и вестибулярные. Наконец, к афферентационным субстратам этого уровня принадлежит и кора полушарий нового мозжечка (*neocerebelli*). Итак, тангорцепторика фигурирует в составе синтетической уровневой афферентации уже второй раз, участвуя перед этим в образовании сенсорного синтеза уровня синергии. Здесь она появляется сильно преобразованной, пройдя в зрительных буртах сложную предварительную переработку и отсев и включив в свой маршрут еще один добавочный нейрон. Этот сенсорный полусырой материал неразрывно срастается со следами, сохраненными памятью, и изю всей переименованной совокупности индивидуально и прижизненно конструируется нерасчленимый синтез «пространственного поля» — образования, хорошо известного психологам в процессах упорядоченного восприятия, но гораздо менее знакомого неврофи-

зиологам в роли ведущей эффекторно-координационной формации.

Поле пространства, в котором организуются движения животного, разумеется, филогенетически гораздо древнее, нежели плукортикальный уровень *C*. Не лишено интереса проследить его постепенную эволюцию, в известной мере одномоментно отраженную в нервных системах высших позвоночных. Элементы организации пространства имеются уже в самом низовом уровне *A*, где она проявляется в виде примитивных тропизмов тяготения, выступая как почти беспримесная полярность верха и низа. В таком именно виде мы встречаемся с пространством как координационным фактором и у насковье палеокинетических бесскелетных беспозвоночных, где поля тяготения определяет и стойко выдерживаемое расположение тела в пространстве, и распределение мышечного тонуса (*Jexkull*). В первом неокинетическом, централизующем уровне *B* пространство проявляет себя в виде системы координат собственного тела, обобщенной в единой системе местных знаков, но еще не спроецированной на внешнее дистантное окружение. Переход к уровню *C* знаменует собой скачок к содержанию, несравненно более сложному и отвлеченному от первичной рецепторики¹.

Пространственное поле уровня *C* не есть ни ощущение, ни их сумма. Пока оно формируется, в нем участвуют и зрительные ощущения, и глазодвигательные ощущения, связанные с аккомодацией и стереоскопическим зрением, и осозательные ощущения с их местными знаками, и проприоцепторика всего тела, возглавленная вестибулярными ощущениями тяготения и ускорений, и, несомненно, бесчисленные осколки с других рецепторных систем. В нем возможны многочисленные компенсации и викарные взаимозамены, так как, например, слепорожденные вырабатывают себе без помощи зрения афферентационное поле, настолько сходное с пространственным полем зрячих, что ни в области

¹ Эволюция пространственного синтеза в вышележащем уровне *D* обрисована в гл. VI.

геометрических представлений, ни в области пространственной моторики не выпадают со зрением почти ни в какие противоречия. Когда это поле создается и выработалось, оно уже настолько абстрагируется от первичных рецепций, лежащих в его основе, что уловить в нем их следы становится невозможным самому пристальному самонаблюдению.

Самый замечательный по резкому отличию от афференциации предыдущего уровня признак пространственного поля — это его *объективность*. Сформировавшееся пространственное поле полностью соотносено с внешним миром и освобождено от той неотрывной связи с собственным телом, которая так сковывает и обесценивает пространственный синтез уровня синергии. Далее, пространственное поле уровня *С обширно, несдвигаемо и гомогенно*. *Обширность* во многом обеспечивается участием телерецепторов в его построении; однако это поле обладает теми же свойствами и у слепорожденных, использующих для его формирования *локомоцию* в сочетании с активным осязанием (пальпацией). Лишенная обоих главных телерецепторов, Helen Keller могла изучить геометрию, понимала и любила скульптуру, в своих литературных работах выражалась о пространстве как зрячая. Еще важнее для объективации пространственного поля прочно связанное с ним ощущение его *несдвигаемости*. Когда мы ходим, поднимаемся на лестницу, поворачиваемся кругом себя, мы не только знаем, но и ощущаем со всей наглядностью и непосредственностью, что перемещаемся мы, в то время как пространство с наполняющими его предметами неподвижно, хотя все рецепторы говорят нам об обратном¹. Если можно так выразиться, каждый субъект еще с раннего детства преодолевает для себя эгоцентрическую, птолемеевскую систему мировосприятия, заменяя ее коперниканской.

¹ Эта уверенность в несмещаемости пространства настолько прочна в норме, что случаи, когда, покачнувшись или перевернувшись, человек ощущает, будто качнулось или перевернулось внешнее пространство, свидетельствуют уже о патологическом расстройстве вестибуло-мозжечковой системы («головокружение»).

Далее, пространственное поле *гомогенно и аперiodично*, т. е. однородно во всех своих частях и не содержит в себе никаких элементов чередования или циклической повторяемости, которых так много в координатной системе собственного тела, на уровне синергии¹.

Следующими важнейшими свойствами пространственного поля являются его *метричность* и *геометричность*. Оно включает в себя точную и выискательную оценку протяжений, размеров и форм, входящих в качестве существенных признаков также и в движения, выполняемые на этом уровне: это *область точности и меткости*. Геометричность пространственного поля характеризует в наибольшей мере верхний, кортикальный подуровень С2, проявляясь в соблюдении геометрической формы и геометрического подобия. На-

¹ В несомненной связи с этой аперiodичностью пространственного поля стоит встречающееся у паркинсоников явление, уже упоминавшееся в гл. IV: полная невозможность ходить по не размеченной тем или другим способом поверхности. Такая потеря способности шагать иначе, как по разметкам, обычно трактуется как результат потери побуждений («Антипебе») к самопроизвольному движению, а разметки пола понимаются как экзогенный суррогат для замены этих побуждений. Объяснение это натыкнуто, т. к. в конце концов какие есть у нас основания полагать, что «тепа на полу может заменить собой побуждение к очередному ступанию ногей? Здесь для объяснения одной догадки подставляется другая. Гораздо более убедительно объяснение, прямо вытекающее из сказанного выше о свойствах пространственного поля. У паркинсоников избирательно поражается уровень синергии, особенно приспособленных по всем свойствам своей афференциации к кольцевым проприоцептивным замыканиям, к ритмическим чередованиям и повторениям. В результате такого поражения *деавтоматизируются циклические процессы*, протекавшие раньше на этом уровне, — в первую очередь ходьба. Разрушается и тот механизм *перешифровки*, который в норме превращает побуждение к перемещению своего тела в аперiodическом пространственном поле в периодический, циклический акт шагания, реализуемый уровнем синергии. С распадом этого уровня нарушается не побуждение к движению, а способность находить в аперiodическом пространстве предпосылки для периодических актов. Бумажные посылки или меловые черты на полу являются суррогатами именно для этих предпосылок: они *непредциклируют пространственное поле*. Для нормального человека ходьба по полосам или, например, по шалам, создает, наоборот, добавочные затруднения, соывая (деавтоматизируя) привычный механизм перешифровки (см. гл. VIII).

деленное всеми перечисленными свойствами пространственное поле уровня. Спредставляет собой самое объективное из «пространств», сопряженных с последовательными уровнями построения; дальше вверх, в уровне действий (см. гл. VI), оно эволюционирует в сторону схематизации и, выигрывая в смысловой упорядоченности, несомненно, теряет зато в строго объективном, фотографическом соответствии действительным метрическим соотношениям.

Пространство уровня. Стыньд не пустое: оно *заполнено объектами*, имеющими размер, форму и массу, и *силами*, действующими между этими объектами. Эти силы тоже относятся нами к внешним координатам; они исходят от внешних тел и привязаны к ним, а не к нашему телу, мы и силовое поле просецируем во внешнее пространство.

Этими свойствами пространственного поля как ведущей афферентации определяются и основные характеристики управляемых им движений.

Движения, самостоятельно ведущиеся на уровне пространственного поля, образуют у человека уже чрезвычайно обильный класс, резко отличающийся по своему богатству и разнообразию от более чем скудного ассортимента, обнаруженного нами на уровне синергии. Прежде чем обращаться к их характеристике, следует упомянуть, что класс движений уровня пространственного поля образует собой «потолок» моторных возможностей: а) у высших рептилий, б) у птиц (у перелетных и хищных птиц стриальный подуровень C1 проходит в некоторых отношениях через кульминационную точку своего филогенетического развития) и в) у низших млекопитающих, а также у человека в его раннем онтогенезе — приблизительно до второго года жизни, продолжая резко преобладать у него в течение всего детства. У высших млекопитающих начинает понемногу формироваться чисто кортикальный уровень действий *D*, но только у человека имеет место чрезвычайно интенсивный рост количества и сложности предметных и цепных действий этого уровня и формирование чуждых вообще всем животным высших кор-

тикальных символических уровней (группа *E*), в связи с чем и относительное количество движений из уровня пространственного поля, и во многом степень их совершенства начинают ощутимо падать.

Движения уровня пространственного поля имеют прежде всего ясно выраженный целевой характер: они ведут отсюда-то, куда-то и зачем-то¹. Эти движения экстравертированы, обращены на внешний мир в не меньшей мере, чем движения уровня синергии интравертированы. Движения уровня *C* несут, давят, тянут, берут, рвут, перебрасывают. Соответственно с этим они имеют начало и конец, приступ и достижение, замахи и броски или удар. Движения в пространственном поле всегда по своей сути *переместительны*; если их внешнее оформление иногда по необходимости и циклично в силу устройства наших конечностей (ходьба, бег), то по своей смысловой структуре описываемые движения так же аperiодичны, как и само пространство, в котором они текут.

Переместительное движение по самой своей сути предполагает прилаживание к условиям того внешнего пространства, в котором оно протекает. Эта *приспособительность к пространству*, владение пространством есть третья характерная черта движений рассматриваемого уровня, совершенно чуждая нижележащим уровням построения. Она проявляется в двух планах или оттенках, намекающих грань между обоими упоминавшимися подуровнями. В нижнем (стриальном) подуровне она проявляется как приспособительность *походу процесса*. В уровне синергии, например, заканчивается и оформляется в детстве сложнейший синергетический концерт ходьбы, но ходьбы, так сказать, холостой, или абстрактной. Стриальный подуровень адаптирует это

¹ Это не значит, разумеется, что мы отказываем движениям уровня синергии в *целесообразности*: в любом уровне движение, правильно решающее возникшую перед особью задачу, целесообразно. Но при этом движения в уровне *C*, все равно — однократные или повторные, всегда приводят к *яственному целевому конечному результату* (перекладывание вещи, вбивание гвоздя и т. п.), а движения в уровне синергии — нет (двенадцать подряд гимнастических приседаний или улыбка).

акт к рельефу и консистенции дороги, к уклонам, закруглениям, скольким местам, к бесчисленным мелким коллизиям, о которых босая нога могла бы многое рассказать обутой. Все эти изменения и прилаживания — прилаживания уже к внешнему полю, а не к собственному телу и его динамике, как это было на уровне синергии, технически необходимы для того, чтобы ходьба могла стать реальным, практически применимым актом. Эту группу приспособлений можно определить как проекцию двигательного процесса на внешнее реальное пространство с его силами и объектами. В верхнем подуровне *C2* та же приспособительность к внешнему пространству становится тоньше и специализированнее, приобретаемая более выраженный целевой, или *финальный, характер*, и превращается в проекцию движения на его конечную точку во внешнем пространстве с установкой на точность или меткость. Этот подуровень в очень большой мере индифферентен к траекториям, способу и характеру выполнения промежуточных этапов перемещения, полностью переноса коррекционное ударе в конечный пункт, в который, как в фокус, должны собраться все возможные (и фактически встречающиеся при повторениях в силу вариативности) траектории данного движения.

Далее, так как владение внешним пространством невозможно без умения справиться уже *с внешними силами*, к движениям уровня пространственного поля относятся и движения силовые: поднимание тяжестей, баллистические (ударные, метательные) движения и т. п.

Следующая общая черта движений описываемого уровня тесно связана с упоминавшейся уже объективированной однородностью пространственного поля и очень характерным образом выделяет эти движения среди других. Эту черту можно было бы назвать *пространственной обусловленностью* движений в противовес позной обусловленности, господствующей на уровне синергий. Движения уровня Сочень четко связаны со своими плацдармами во внешнем пространстве и очень мало связаны при этом с позой собственного тела в це-

128

лом и даже с позициями промежуточных звеньев самой движущейся конечности. Скрипач, у которого моторика движений смычка базируется в основном на уровне синергии¹, никогда не решится изменить позу правой руки и стандартный рисунок ее межзвонных углов ни по отношению к инструменту, ни по отношению к верхней части туловища. Наоборот, у пианиста, двигательный состав координации которого теснее всего связан с уровнем пространственного поля, самые разнообразные изменения позы тела и положений играющих рук никак не сказываются ни на меткости, ни на точности исполнения, ни на его темпе, причем в число таких изменений можно (эксперимента или фокуса ради) включить и самые причудливые, акробатические позиции тела. Излишне подчеркивать, как сильно могут изменяться при этом все позные и угловые соотношения играющих рук. Наоборот, то, что пианисты называют туше и что непосредственно относится к способам извлечения звука и к художественным качествам последнего, будучи основано на фоновом уровне синергии, уже теснейшим образом связано с посадкой и позой рук. Это хорошо известно каждому музыканту-педагогу, и во имя этого ни один художник эстрады никогда не примирится с малейшей небрежностью в качествах табуэта, подставленного к инструменту. Элемент меткости (пространственное поле) не сбивается от изменений посадки и позы, а в то же время элемент туше (синергии) чувствителен к ним так же, как и координации смычковой руки скрипача.

Эта противоположность между уровнями *Bm* Снуждается в анализе. Низко стоящий уровень синергии, являющийся одним из старейших в филогенезе проявлений церебральной интеграции движений и ознаменовавший своим появлением возникновение возможности огромных, охватывающих все тело синергии, в то же время педантически нетерпим к малейшим изменениям двигательного состава реализуемых им

¹ Точнее говоря, этот уровень ведет важнейшие из фоновых компонент двигательного состава этого акта, протекающего в самом главном и целом (в неразрывной связи с работой левой руки) на высших кортикальных уровнях.

движений и фонов и чрезвычайно склонен к образованию стойких штампов и стереотипов движения. Это объясняется тем, что построение движений уровня синергии и всех его сенсорных коррекций исходит из *собственного тела*, из проприоцептивных ощущений поз этого тела, суставных углов и т. д. Эти позы, последовательно проходимые во время движения (а также и те реактивные силы, которые неизбежно возникают при этом), и становятся самой сутью движений закрепляясь в виде навыка. Такому закреплению стандартной формулы, несомненно, способствует и образование собственных этому уровню динамически устойчивых форм движения, которые автоматически препятствуют всяким отклонениям от раз найденного стереотипа (см. гл. VIII), но дело отнюдь не только в них одних, так как и медленные движения в уровне синергии, не проявляющие механических предпосылок к динамической устойчивости, тоже тяготеют к этому уровню к стереотипам.

Резко отличный по всем своим свойствам от этой штамповобразности характер движений уровня пространственного поля подводит вплотную к большой группе явлений, имеющих первостепенную важность. Речь идет о взаимоотношениях между *точностью* и *вариативностью*, затрагивающих попутно и еще целый ряд других свойств координационного процесса.

Дело в том, что в зависимости от смыслового характера задач, собственных тому или другому уровню, и от тесно связанного с ним качества и состава его корректирующих афферентаций в каждом уровне по-другому расставляются ударения между важным и неважным, по-своему проводятся знаки равенства между не вполне одинаковыми движениями или их компонентами. Среди бесчисленных возможных сторон движения, подлежащих сенсорной коррекции, каждый из уровней вычленил те, к которым он особенно взыскателен и для управления которыми он наиболее адекватно вооружен, отделяя их от тех, к которым он остается более или менее индифферентным. Очевидно, по отношению к пер-

вым он будет соблюдать максимально доступную ему устойчивость и точность, в то время как вторые будут в большей степени предоставлены им либо на волю случайности, либо на коррекцию, проводимую фоновыми уровнями, если какой-нибудь из них, в свою очередь, заинтересован в корректировании этой стороны и в выдерживании ее на высокой марке точности.

Так, например, верхний подуровень пространственного поля C2 делает решающее ударение на *точности попадания*, или *меткости*: меткости броска, удара, точности показывания или прикосновения, а в более сложном оформлении на точности воспроизведения видимой формы, например, срисовывания фигуры с соблюдением геометрического подобия. При этом подуровень C2 в большой степени безразличен к путям достижения требуемой финальной меткости и к поведению органа в промежуточных точках. Нижний подуровень C1 столь же требователен к точности, реализуемой по ходу движения: прилаживанию ходьбы к неровностям почвы, ступенькам, подъемам и спускам, прилаживанию движений карандаша к обведению нарисованного контура, движений напильника - к конфигурации обрабатываемой поверхности и т. д. Уровень действий D, о котором речь будет ниже (см. гл. VI), столь же требователен по отношению к конечному результату смысловой цепи движений при заметном индифферентизме к составу рабочих приемов и последовательных исполнительных элементов цепи. Примеры было бы легко умножить.

Есть очень много движений, для которых установить объективный критерий точности значительно труднее, нежели для движений, связанных с меткостью попадания. Здесь на помощь приходит то обстоятельство, что, естественно, уровни допускают по отношению к безразличным для них сторонам и компонентам движения значительно более высокую *вариативность*, нежели по отношению к тем, которые имеют для них первостепенное значение. Таким образом определяется очень характерный признак принадлежности движения к тому или другому уровню или же к его уровневому составу,

который можно было бы назвать *признаком специфической вариативности* (см. гл. IX). Помимо качественных отличий в направлениях и сторонах, предоставляемых разными уровнями на долю вариативности, имеет место и очень выразительный количественный *рост вариативности снизу вверх*, от уровня к уровню, стоящий в несомненной связи с упоминавшимся еще в гл. I ходом биологической эволюции двигательных задач в направлении все растущего разнообразия и приспособительности. Действительно, *вариативность является оборотной стороной точности*: не располагая тот или иной уровень известными резервами вариативности и изменчивости реализуемых им движений, он был бы не в состоянии *гибко и точно прилаживать* их к разнохарактерным условиям действительности.

Вариативность и изменчивость движений уровня синергии крайне незначительны¹, что отчасти искупается высокой тщательностью отдели и амплитудой синергетического охвата, присущими его двигательным штампам. Вариативность подуровня *C₁*, а особенно *C₂*, значительно выше, как будет еще показано на ряде примеров². Еще больше она у

¹ Наши циклограммические измерения многих случаев высокоавтоматизированных циклических движений, таких как ходьба, бег, опилковка и т. п., показали, что вариативность последовательных синергетических циклов обычно не превышает нескольких миллиметров по пространственным координатам траекторий и нескольких миллисекунд по длительностям.

² Характерная черта соотношений между вариативностью и точностью видна из следующего примера. Если испытуемый повторяет несколько раз (на уровне синергии) круговое движение рукой в порядке гимнастического упражнения, то, как показывает обмен циклограмм, последовательные круги отклоняются друг от друга не более чем на 10–15 мм — настолько точно здесь координация. Если же движение состоит в угле игольной начерченной точки (уровень пространственного поля), то точка самого укола оказывается намного выше, чем у предыдущего движения, до долей миллиметра; а в то же время те траектории, по которым рука при повторных уколах двигалась к бумаге, могут расходиться друг с другом на многие сантиметры. Таким образом, целевая точность (отсутствующая в уровне синергии) во много раз превосходит точность, доступную уровню *B*, но при этом уровень пространственного поля очень мало озабочивается тем, по каким путям и какими средствами организуется эта финальная точность.

уровня действий *D*, хотя там вступают в силу некоторые характерные ограничения.

То самое явление, которое в произвольном плане выглядит как вариативность, в плане преднамеренном и целевом обращается во взаимозаменяемость двигательных компонент и *переключаемость* движения с одного органа на другой. Движения уровня пространственного поля обнаруживают в резком отличии от движений и фоновых координации, управляемых уровнем синергии, очень большую переключаемость. Показать точку одинаково легко и точно можно и пальцем правой руки, и пальцем левой, а в случае надобности пальцем ноги, носом и т. д. Взять предмет, поднять с пола карандаш, нажать кнопку звонка, поднять шеколду, дернуть за веревку можно с равной легкостью как одной, так и другой рукой, с любого бока и любым способом. Штампы уровня синергии, привязанные к определенным позициям конечностей, конечно, тем более привязаны к самой конечности, освоившей их. В вышедежащем уровне йуже отчетливо сказывается функциональная неравноценность правой и левой руки за счет доминантности одного из полушарий; таким образом, переключаемость, несомненно, проходит в описываемом уровне *S* через свой максимум.

В уровне пространственного поля легко переключаемы не только траектории движения и исполнительные органы, *переключаемы также приемы*. При ходьбе в реальных условиях: на пересеченной местности, в горах и т. д. — задача движения — перемещение в определенное место — по ходу дела решается десятками способов: ходьбой, прыжком, ползком, бегом, карабканьем. Мальчику нужно пройти сто шагов; он из них часть пройдет, часть пробежит, часть проскачет на одной ножке или пройдет колесом. Человеку, умеющему ездить на велосипеде, совершенно безразлично, какой рукой, в каком месте и какой хваткой держаться за руль; очень легко научается он ездить и без руля и тому подобному.

У упоминавшегося уже ранее скрипача движения левой руки строятся в отношении важнейших двигательных фонов

на уровне пространственного поля, как и движения рук пианиста. Здесь, как известно, не только с большой легкостью совершается смена позиций кисти или смена избранной для исполнения струны (знаменитые виртуозы, когда у них лопались на эстраде струны, не разводили до конца труднейшие концерты на одном баске), но и легко осуществляется переключение, например, со скрипки на альт, хотя у последнего длина грифа, т. е. и все аппликатуры, все требуемые взаимные расстояния между концами пальцев, почти в полтора раза больше, чем у скрипача. Хорошему скрипачу легко дается усвоение аппликатуры даже виолончели, хотя здесь изменения уже не только размеры, но и положение, и направление грифа.

Другой аспект все той же переключаемое™, свойственной уровню пространственного поля, — это пресловутая «пластичность» нервной системы, обнаруживающаяся во всевозможных экспериментах с ампутациями и нервными и мышечными анастомозами. Достаточно просмотреть соответствующую литературу (Bethe, Osborne, Kilvington, П. К. Анохин, Э. А. Асратян и др.), чтобы убедиться, что все отмечавшиеся экспериментаторами быстрые перестройки и переключения в опытах этого рода относились к движениям на уровне пространственного поля: с движениями из уровня синергии их постигло бы горькое разочарование. Подобные же явления ярко выражены у ампутированных людей-инвалидов (рис. 37—39, не помешены. — *Прим. ред.*). Так, инвалиды, лишенные обеих рук, легко научаются писать ногой или ртом. Автор наблюдал в 1941 г. девушку, лишившуюся при железнодорожной катастрофе обеих рук и одной ноги. Она обучалась в средней школе и умела хорошо писать: а) ртом, б) уцелевшей ногой и в) искусственной рукой. Что очень характерно для координации уровня пространственного поля, почерк ее при всех трех приемах сохранял свои характерные черты (рис. 41, не помешен. — *Прим. ред.*), т. е. также обнаруживал свойство переключаемости. На рис. 40 приведено письмо беззвучного мужчины; один отрывок на-

134

Привет! Я пишу
29/5 40 — Драмента
— Драмента
//
Привет! Кончаем
2 Москва Драмента
28/6 40

Рис. 40. Письмо беззвучного Я.

Сверху — карандашом, зажатым в зубах, снизу — пером, зажатым в шпильки ручного протеза. Несомненно наличие в обоих случаях некоторых общих особенностей почерка (конец слова «Привет», группы букв «конфе», «Ярош» и т. д.) писан карандашом, зажатым в зубах, другой — пером, зажатым в шпильки ручного протеза. Рисунок ясно показывает, как пространственный контур движения находит себе дорогу через самые разнообразные перешифровки. С движениями уровня синергии ничего подобного не получается из-за не переключаемости штампов.

Надо заметить, что и у здоровых людей почерк проявляет подобную же переключаемость. Нам безразлично, писать ли мелко или крупно, пером на горизонтальной или мелом на вертикальной плоскости, хотя при этих вариантах движения вовлекаются в работу совершенно разные мышцы и разным образом. Автор ставил опыты над интеллигентным субъектом, заставив его без какой бы то ни было предварительной тренировки писать карандашом, прочно укрепившимся: 1) к правому запястью, 2) к правому локтю, 3) к правому надплечью, к кончику 4) правой и 5) левой стопы, а кроме того, карандашом, взятым 6) в зубы и 7) в левые пальцы (рис. 42, не помешен. — *Прим. ред.*). Во всех этих переключениях письмо удавалось сразу, хотя и с известным трудом; результаты опыта приведены на рис. 43. Интересно, что плавная округлость

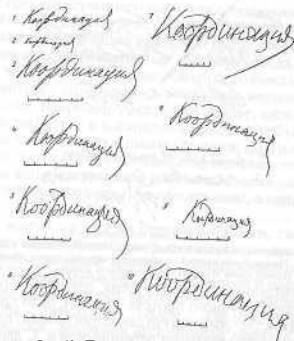


Рис. 43. «Пластичность нервной системы» при письме различными пунктами конечностей.

1 и 2 — нормальная скорость письма пальцами правой руки; 3 — карандаш удерживается в пальцах правой руки, письмо производится с расклевыванием правой кисти как целого; 4 — карандаш укреплен около шпильки; 5 — карандаш укреплен около медиальной линии оттока правой лучевой кости; 6 — карандаш укреплен на правом надплечье; 7 — карандаш укреплен на правой лопатке; 8 — карандаш удерживается ботинком правой ноги; 9 — карандаш удерживается пальцами левой руки; 10 — карандаш укреплен к лопатке. Линии внизу каждого факсимиле — 5 см натуральной величины. Испытуемый — нормальный натренированный субъект с преобладанием предметного уровня в моторике. На рисунке видны: а) весьма большая сохранность характера почерка; б) почти полная не переключаемость фоновых синергий скорости (округлость, плавность), резко отличающихся варианты 1, 2 и 10 от всех остальных; в) обширная переключаемость компоненты уровня пространственного поля; г) наличие координации предметного уровня, характеризуемого резким ухудшением почерковой координации при переключениях на левую сторону тела (варианты 9 и 10) (работа автора, ЦНИИФХ, 1940 г.).

скоростного почерка (создаваемая фоновыми координациями уровня синергии) не удержалась ни в одном из вариантов письма, кроме привычного писания правой кистью; в то

же время почерковый характер отдельных букв, связанный с коррекциями уровня С, сохранен всюду очень отчетливо.

Все проявления переключаемое™, о которых речь шла в последней группе примеров, относятся уже к *верхнему подуровню* пространственного поля. Этот подуровень в еще большей мере, чем нижний, проявляет свойства освобожденности от жестких измерителей низовых уровней. Нам не только безразлично, изобразить ли квадрат, круг, букву и т. п. на горизонтальной или на вертикальной поверхности, длинным или коротким карандашом или прямо пальцем; нам в равной мере безразлично, изобразить ли эти контуры мелко или крупно. Если нижний подуровень сочетает позную и сугавно-угловую переключаемость с сохранением *пространственного тождества* (конгруэнтности), то подуровень (°) распространяет эту же переключаемость и на случай сохранения *геометрического подобия*. Пример с почерком, может быть, особенно разителен, показывая, как *ведущий геометрический образ пролагает себе путь* через любые мышечные системы, через любые иннервации, при любых масштабах. Срисовывая находящийся перед глазами рисунок или натуру, рисовальщик воспроизводит их с точным соблюдением геометрического подобия, и, во всяком случае, степень трудности такого воспроизведения меньше всего зависит для него от выбранного масштаба рисунка.

Обобщая, нужно сказать, что во всех рассмотренных случаях движущуюся конечность (точнее говоря, ее *рабочую точку*) ведет пространственный контур движения: в подуровне С1 — непосредственно заданный (типичное движение — *обведение* предъявленной фигуры); в подуровне С2 — заданный или представляемый как геометрическая форма, без ограничения местоположения и масштаба (типичное движение — *срисовывание* фигуры). Именно по отношению к рабочей точке и соблюдается в описываемом уровне наименьшая вариативность и наибольшая точность. Особенно замечательны случаи, когда рабочей точкой служит не какой-либо пункт самой конечности, а пункт на продолжающем ее ору-

дии: кончик пера, карандаша, ножа, центр теннисной ракетки, боек молотка и т. п. В этих случаях при развитом двигательном навыке, несмотря на то, что эти рабочие пункты орудий лишены каких-либо возможностей для прямой сенсорной сигнализации, корригирование их движения осуществляется все же отнюдь не только посредством зрения. Это ясно подтверждается тем, что при автоматизации такого навыка очень часто оказывается возможной работа не глядя. Это может означать только, что в проприоцептивной сенсорно-коррекционной системе с помощью зрения вырабатываются соответственные *перешлифовки*, переводящие пространственные ощущения в элементах конечности на язык соответствующих этим ощущениям позиций и перемещений рабочей точки¹.

Наконец, все те же явления вариативности и персклочаемости и уже обрисованная гибкая приспособляемость уровня С к изменчивым условиям действительности играют самую главную роль в осуществлении *экстемпоральности*, отмечавшейся еще в гл. I в числе сторон и направлений развития двигательных реакций в филогенезе. Действительно, уровни, хорошо приуроченные к выполнению штампов, мало пригодны для реализации разовых, непредвиденных двигательных реакций, может быть, именно в силу большой и громоздкой сложности выполняемых ими координации. Шаппы уровня синергии могут быть очень точно пригнаны, отработанными, обладать сыгранностью, охватывая иногда огромные ансамбли мышц и сочленений, но создавать новые, внезапные двигательные комбинации этому уровню так же трудно, как оркестру играть импровизацию. Наоборот, более высокие уровни, легко идущие в *непроизвольном плане* на допущение вариаций в отдельных сторонах и компонентах движения, с той же легкостью осуществляют ¹ И-проприоцептивная оценка положения в пространстве кончика собственного пальца дается менее всего рецепторами, помешающимися на нем самом, и создается синтетически по данным проприоафферентации всех пунктов руки; только в этом случае навык оценки положения прочно автоматизирован еще с детства.

по побуждениям удобства или необходимости *преднамеренные разовые модификации* своих (обычно более простых и портативных) движений, откликающихся на то или другое нетрафаретное изменение ситуации. Если сенсорные коррекции уровня организованы так, что допускают возможность целого ряда эквивалентных путей, ведущих к одному и тому же результату и легко взаимозаменяемых, то эта же способность к переключению и прокладыванию различных от случая к случаю тропинок к неизменной цели позволяет легко нащупывать и новые комбинации движений. Экстемпоральность, как правило, не проявляется по отношению к тем сторонам движения, которые данный уровень выдерживает точно, на низкой вариативности. Здесь гибкость и приспособляемость двигательного аппарата проявляет себя только медленно, путем длительных перестроек на основе накапливаемого опыта.

Таковы общие черты движений и координации уровня пространственного поля. Обращаемся к его локализации.

О мозговых субстратах его афферентационной части было уже сказано в начале этой главы. Эффекторных образований у этого уровня, по меньшей мере, два, что и подкрепляет в первую очередь проводимое здесь разделение его на два подуровня: 1) *corpus striatum* (полосатое тело), анатомически составленное из двух далеко отстоящих друг от друга ядер, *nuclei caudati* (хвостатого ядра) *putaminis* (скорлупы), и являющееся верхним этажом экстрапирамидной эффекторной системы; и 2) *гигантопирамидное поле 4 коры полушарий*, представляющее собой «выходные кортикальные ворота» пирамидной эффекторной системы. Оба эти образования филогенетически резко разновозрастны (см. гл. VII); это позволяет предполагать, что и в функциональном плане нижний подуровень сформировался в филогенезе раньше верхнего (рис. 44—47, рис. 48, не помещен. — *Прим. ред.*, а также рис. 25).

При всей существующей до сих пор неполноте сведений об афферентациях *striatum* бесспорно, что они отличаются по своему качеству и составу от афферентаций пирамидной

эффекторной системы. Наряду с резкими несходствами клинических картин выпадений при поражениях striatum и пирамидной эффекторной системы это обстоятельство служит сильным аргументом для признания двух раздельных подуровней. Клиницисту труднее было бы признать обе названные анатомические системы за один целостный уровень, чем примириться с расчленением его на два слоя. Однако в действительности пропасть между пирамидной эффекторной системой и верхним этажом экстрапирамидной эффекторной системы, несомненно, не так велика. Во-первых, клиницисты имеют дело не с отправлениями, а с выпадениями, не с функцией, а с дисфункцией, что далеко не одно и то же. Во-вторых, большая часть того, что понимается в широком невропатологическом обиходе под экстрапирамидными движениями, относится к таламо-лаллидарному уровню синергии. Эти синергии, как было показано выше, либо самостоятельно реализуются в уровне *B*, либо же нуждаются для своего осуществления в пилотаже со стороны striatum или пирамидной эффекторной системы. Трудность реализации синергии этого фоновочного типа без помощи striatum заставила (ошибочно) относить их к последнему, и это, действительно, сделало различие между пирамидно-кортикальными и стрио-лаллидарными движениями очень глубоким. Однако нужно расценивать явление точнее.

Если оставить в стороне действительно резкую антитезу между уровнями *B* и *C*, достаточно подчеркнутую в предшествующем изложении, и обратиться хотя бы к свидетельствам клинической литературы о *стриальной патологии*, то окажется, что, в то время как таламо-лаллидарный уровень у человека полностью интравертирован, striatum с его афферентными системами тесно связан с *реализацией движений в пространстве*. Foerster связывает с ним стояние, сидение и ходьбу Graham Brown относит на долю striatum бег, например, локомоторные движения теннисиста, т. е. четкие образцы движений на нижнем подуровне пространственного поля. С. & O. Vogt приписывают striatum «высококоордини-

рованные двигательные импульсы, связанные с речью и движениями туловища и конечностей». Jacob считает striatum центром выразительных и реактивно-оборонительных движений¹, ориентировочных и установочных движений, составных двигательных и статистических элементов сидения, стояния и ходьбы — все они явно относятся к движениям из класса пространственного поля. Примерно так же характеризует striatum Schilder. В эти данные клиницистами характеристики striatum целиком укладываются то, что было описано выше как проекция двигательного процесса на внешнее пространство, как текучее прилаживание к пространству и его силовому полю по ходу двигательного акта².

Характерных функциональных отличий кортикальной пирамидной эффекторной системы от системы striatum два. Во-первых, пирамидная эффекторная система значительно интимнее связана со зрительной, а стриальная система — с проприоцептивной афферентацией; поэтому двигательные свойства точности и меткости преобладающим образом связываются с пирамидным аппаратом и первыми выпадают при его поражениях. Во-вторых, при нарушениях целостности пирамидной эффекторной системы страдают преимущественно произвольные движения, а при экстрапирамидных поражениях — непроизвольные. Это различие, само по себе глубокое и важное, лежит в совершенно другом плане, нежели рассматриваемый здесь вопрос о качествах двигательных координации, и уже получило выше (см. гл. II) освещение об общем указании на постепенный рост снизу вверх как произвольности, так и осознанности движений последовательных уровней.

¹ О некотором смещении и этом пункте функций striatum и pallidum см. гл. VIII.

² Проницательнейший неврофизиолог XIX в. Н. Jackson еще в конце 60-х годов сказал, что передняя центральная извилина коры представляет собой имеее со striatum «средний уровень» в организации двигательного аппарата и что зоны, расположенные впереди от пирамидного поля, являются также моторными; они представляют собой высшие двигательные центры (Jackson H. - 1927. - С. 36, 40).

Перечень самостоятельных, целостных движений, ведущих на уровне пространственного поля, настолько обширен, что какая бы то ни было возможность составления их каталога совершенно исключается. Все, что реально возможно сделать, — это выделить важнейшие виды и группы этих движений и снабдить описи этих основных групп немногими более или менее наудачу взятыми примерами.

Т. Всевозможные *локомоций*: ходьба (рис. 49), бег (рис. 50), ползание, лазание, плавание (рис. 51—53, не помещены. — *Прим. ред.*), ходьба по канату, ходьба на руках и т. п. Далее, сюда же относятся *локомоций на приспособлениях*: бег на коньках (рис. 54), ходьба на лыжах (рис. 55), на ходулях, езда на велосипеде, гребля и т. д. Все это будут циклические локомоторные процессы. За ними следуют ациклические локомоций: прыжки с разбега (рис. 56; рис. 57—59, не помещены. — *Прим. ред.*, а также см. рис. 100) и с места; в длину, в высоту, в глубину; прыжки в цель (например, в окно, через обручит, п.), прыжки на лошади, акробатические прыжки и т. п. Наконец, к группе локомоций нужно отнести и движение *ходьбы с тягой или толканием* (повозки, невода, бурлацкой лямки) спортивное упражнение «перетягивание каната» и т. п. Все это — переносы всего тела в пространстве.

II. *Нелокомоторные движения всего тела в пространстве*. Сюда войдут сальто, акробатические движения, упражнения на брусьях, кольцах, турнике, трапеции и т. п. (рис. 60).

III. *Движения «манипулирования с пространством»* отдельных частей тела. Среди них встретятся и движения, которые можно было бы назвать «локомоциями конечностей», например, движения рук машинистки на пишущей машинке или музыкантов по аппликатуре инструмента (левая рука у смычковых, обе руки у пианиста, арфиста, баяниста, ноги органиста и т. д.); к этим движениям даже в обиходной речи привились локомоторные термины: «беглость пальцев», «пальцы забегали по струнам» и т. п. (рис. 61). Сюда же относятся и



Рис. 49. Фигурная циклическая нормальная ходьба. Левая сторона тела.

Кривые отдельных точек тела, подобно кривым рис. 29, дают характерный образец синергетического узор в уровне В с присущей ему ритмичностью, стандартностью последовательных циклов и быстрой сходимостью выражающих эти кривые рядов Фурье (работа автора, ВИАМ, 1935 г.)

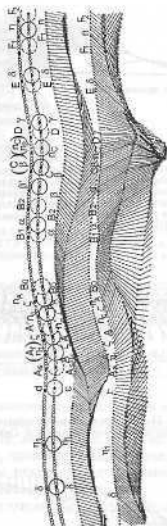


Рис. 50. Тип локомоторного движения в уровне пространственного поля СГ. Последовательные попожения правой стороны тела при беге стилем миттельштрек (мировой рекордсмен Ж. Лядумег). Частота изображаемых поз 187 в секунду (работа автора, ЦНИИФК, 1936-1939 гг.)



Рис. 54. Схематический план-чертеж пути проекции общего центра тяжести тела и путей коньков при беге на коньках по прямой. Для ясности схемы поперечные размеры и кривизна значительно преувеличены. Кривизна пути общего центра тяжести влево (кроме толковых двухконтактных фаз) обусловлена выпуклостью стороны к опорному коньку; она тем больше, чем дальше отстоит проекция общего центра тяжести от пути конька, что характеризует динамически уравновешенный характер движения в разбираемом случае (работа автора, ЦНИИФК, 1939 г.)

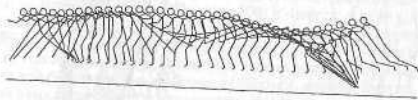


Рис. 55. Фигурки последовательных положений тела при ходьбе на лыжах (по циклограмме автора и Н. Сидчихова, ЦНИИФК, 1939—1940 гг.)

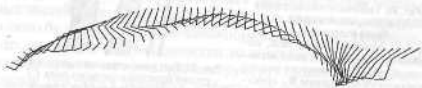


Рис. 56. Тип локомоторного движения в уровне пространственного поля CI. Последовательные положения левой ноги при прыжке в длину с разбега (работа И. Садчихова, ЦНИИФК, 1938-1939 гг.)

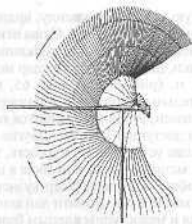


Рис. 60. Тип нелокомоторного движения в уровне пространственного поля CI. Часть движения «вскопски» чемпиона СССР Ризалатзе на параллельных брусьях. Последовательные положения левой стороны тела с частотой 130 поз в секунду (работа автора, ЦНИИФК, 1937 г.)

движения с той же беглостью пальцев, но без переноса руки, например, движения пальцев бодиста или играющего на духовом инструменте. Другие движения этой же группы представляют собой однократные целевые переносы в точных пространственных координатах: движения указывания, прикосновения, укола, обвода контура и т. п.¹ (рис. 62, не помещен. — Прим. ред.).

IV. *Перемещение вещей в пространстве*: движения взятия, схватывания, ловли летящего или движущегося предмета, передвижения, перекалывания, переноса и т. п.; всовывание, вдавливание, доставание, навивка, наматывание; *преодоление внешних сил*: подъем тяжестей, натягивание лука или струны и т. п.

Перечисленные группы тяготеют основным образом к нижнему подуровню CI.

V. Переходную группу, не вполне ясную в отношении ее принадлежности к нижнему или верхнему подуровню, образуют *баллистические движения*. Те из них, которые делают

¹ Но не движение, например, закладывания ноги на ногу при сидении, не связанное с координатами пространства и идущее на уровне B.

преимущественную установку на силу, видимо, более тесно связаны с нижним подуровнем С1. Сюда относятся силовые ударные и метательные движения: толкание ядра, метание фанаты или связки, диска, молотка; удар молотобойца, рыбок штанги и т. п. (рис. 64, 66; рис. 65, не помещен. — *Прим. ред.*). Зрительный контроль в движениях этой подгруппы второстепенен; это подтверждается тем, что перечисленные движения доступны слепому. Другие баллистические движения, имеющие установку на меткость, тяготеют к верхнему подуровню: метание колья или мяча Б цель; теннис, городки, крокет; работа жонглера; удар кузнеца или рубщика зубилом; укол штыком и т. д. Все эти движения требуют зрительного контроля и недоступны слепым (рис. 63, 67).

VI. Движения *прицеливания*: наводка зрительной трубы, диоптра, целика, подготовительные движения перед точным уколом (игла, ножка циркуля и т. п.) или разрезом; прицеливание из бьющего вдаль оружия, прицелы на бильярде, в крокете и т. п.; установочно-выжидательные движения вратаря в футбольной игре; у животных — стойка хищного животного перед прыжком-нападением и т. д. Зрительный контроль с учетом глубины, перспективы, словом, всей дистантной геометрии пространственного поля, существенно необходим для этой группы.

VII. *Подражательные и копирующие движения*: имитация зрительно воспринимаемых движений и действий другого лица; срисовывание (с натуры или с рисунка); изображение предмета или действия жестами (изобразительная пантомима в отличие от полунепроизвольной, эмоционально-выразительной пантомимы уровня синергии); передразнивание и пародирование движений (?) и т. д. Верхний подуровень существенно необходим.

Не будем давать здесь примеров движений, в которые уровень С пространственного поля входит как фон. Такие движения высших уровней чрезвычайно многочисленны. Дело в том, что уровню пространственного поля недоступно выполнение сложных смысловых действий, которые связаны

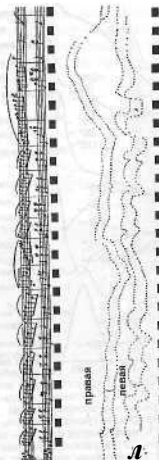


Рис. 61. Тип движений в уровне пространственного поля: кинематограммы исполнения сельского вальса Шопена. Снимок сделан сверху. На каждой кисти помещены по две метки. На каждой кисти 16 точек (о 33-го по 48-й). Отчетливо видна оазиса (метки) на 33-й и 48-й. В этом уровне движения синергии и 7-го уровня (работа автора, 1924 г.). Муз.-пед. лаборатория Московский консерватории, 1949 г.). Отметим интересное пресерваторное движение левой руки близ буквы 4-й приходящее на целую секунду паузу

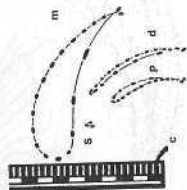


Рис. 63. Циклограмма движения правой руки при рубке зубилом — типического движения пространственного уровня, являющегося фоновой частью рабочего процесса (работа автора, 1924 г.). Муз.-пед. лаборатория Московский консерватории, 1949 г.). Отметим интересное пресерваторное движение левой руки близ буквы 4-й приходящее на целую секунду паузу

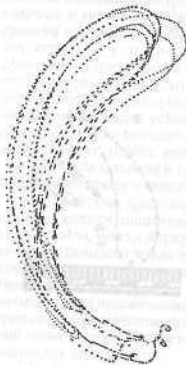


Рис. 64. Серия последовательных вертикальных ударов кулачной кувалдой, характеризующая высокую автоматизированность и значительную кучность исполнения движения (работавтор, ЦИТ, 1924 г.)

с предметом и орудием (кроме простейших перемещений их); здесь выступает на сцену следующий вверх уровень действий *D*. В вышеприведенном обзоре движений, ведущихся на уровне пространственного поля, малопроизводительных и трудовых движений и относительно много спортивных и ак-

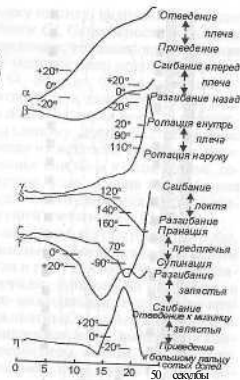


Рис. 66. Кривые угловых смещений звеньев правой руки по степеням свободы в последнюю четверть секунды перед броском гранаты с разбега.

Порядок и номенклатура кривых — те же, что и на рис. 32. Рисунок обнаруживает начальную, сравнительно медленную часть метательной синергии и резкий типично пирамидный взрыв энергии в течение последних 7—8 сотых секунды перед броском (работавтор, ЦНИИФК, 1940 г.)

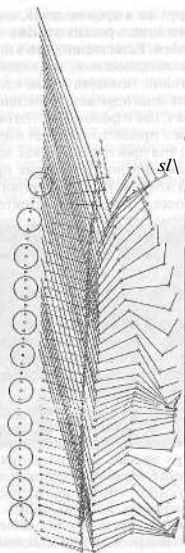


Рис. 67. Фигуры последовательных положений правой стороны тела при уколе ильком. Тип самостоятельного локомоторного фона с «нахлбучинным» на него однократным целевым актом в уровне *C2* (работа Л. Осипова, ЦНИИФК, 1940 г.)

роботических. Труд же и производство, как правило, имеют дело с предметом и лишь в редких случаях — с пространством и его силовым полем. Естественно, что в инвентаре уровня *С* оказываются преобладающими, во-первых, локомоции, а во-вторых, спортивно-гимнастические процессы. Но трудно было бы считать много движений вышних уровней, не связанных с уровнем *С* как с фоном, уже потому, что смысловое манипулирование с предметом требует в преобладающей части случаев владения пространством как естественной предпосылки. Как показано ниже, уровень пространственного поля подслаивает эти действия предметного уровня двойным образом: 1) как более или менее самостоятельный фон, обеспечивающий перемещение всего тела, точность и меткость отдельных вспомогательных движений в качестве технических предпосылок для выполнения предметного действия (например, ходьба, являющаяся необходимым фоном для таких трудовых операций, как косьба, прокатка стали, работа сцепщика поездов и т. п.), и 2) в уровне пространственного поля формируются по мотивам и побуждениям вышележащего уровня и для его обслуживания специальные фоновые координации — так называемые высшие автоматизмы, или сноровки (*Handfertigkeiten, skills*), о которых будет речь в гл. VI и VIII.

Остановимся вкратце на явлениях дисфункции рассматриваемого уровня. Если нарушения на рубро-спинальном уровне *A* заслуживали названия дистоний, нарушения в таламо-паллидарном уровне *B* — названия диссинергий, то дисфункции уровня *С* хорошо объединяются под именем дистоний, или атаксий, т. е. того, что в просторечии принято называть «нарушениями координации». Все известные в клинике виды атаксий связаны с поражениями афферентаций именно описываемого уровня. Таковы вестибулярная и мозжечковая атаксии; такова, по сути, и табетическая атаксия, хотя она осложняется, как указывалось выше, еще дистоническими нарушениями в уровне *A*. Все эти виды атаксий не затрагивают уровня синергии и не влияют прямым обра-

зом на уровень выше *С*, но они резко избирательно нарушают пространственную координацию, в первую очередь равновесие, локомоции и точность (меткость). Табетическая атаксия, вызывая побочным порядком синдром дистоний, выбивает до известной степени почву из-под ног и у уровня синергии, опирающегося на эффектор уровня *A* — красное ядро. Движения уровней выше сразу разрушаются вторично постольку, поскольку выпадают имеющиеся почти у всех их технические фоны из уровня пространственного поля. Довольно явственный, хотя и скоро проходящий синдром атаксии может дать недавно наступившая, еще не компенсированная слепота (рис. 68 и 69).

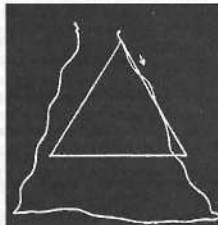
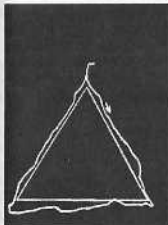


Рис. 68и69. Циклограммы ходьбы с связанными глазами по заданному контуру треугольника.

Снято сверху. Слева — нормально выполненное задание в уровне пространственного поля; справа — атактическое нарушение ходьбы с пипермистрией (работа Я. Озерского и автора, ЦИТ, 1924 г.)

При поражении на основном эффекторном пути этого уровня — пирамидном пути — первыми вслед за общим шокм выступают спастические параличи, сменяющиеся затем парезами за счет экстрапирамидной (отчасти контралатеральной) компенсации. При этом обнаруживаются избиратель-

ные дефекты как раз в областях, причисленных выше к комплексу пространственного поля: выпадение или ухудшение качества точных движений, затруднительность выполнения целевых движений при сохранности движений мимических, выразительных, позных и т. д. При поражениях Б эффе́кторном звене атаксия не проявляется так резко, как при поражениях аффе́рентации (см. гл. IX); но тем не менее, хотя атаксия и зависит в преобладающей мере от аффе́рентации, а не от эффе́кторики, все же атактический характер пирамидных расстройств бесспорен. Что касается поражений *stratum* как эффе́ктора, то его выпадения влекут за собой избирательные расстройства движений нижнего подуровня С/, обычно заставляемые являться патологической гиперфункцией *pallidi*.

Глава шестая

Кортикальные уровни построения

Теменно-премоторный уровень действий (D)

Высшие кортикальные уровни

Все координации и значительная часть движений, описанные в предыдущих главах, принадлежат и животным не в меньшей мере, чем человеку. Более того: на самых различных ступенях эволюционной лестницы позвоночных мы встречаем виды, обладающие более высоким развитием тех или других сторон и проявлений уровня пространственного поля, чем у человека; животных с более резвым и выносливым бегом, лучше лазающих, совершеннее плавающих, нежели человек, обладающих большей коррекционной зоркостью, более тонкой зрительной или обонятельной ориентировкой в пространстве, более метким и точным нападением. Все говорит за то, что кульминационные точки развития по этому уровню уже пройдены. Правда, списки движений уровня пространственного поля у человека богаче, чем у каких бы то ни было животных, но более внимательное рас-

смотрение, которое отчасти найдет свое отражение и в этой главе, показывает, что многие из этих человеческих движений, якобы из уровня пространственного поля, на самом деле лишь обильно, подавляюще, насыщены фонами из этого уровня, принадлежа по признаку ведущих аффе́рентации к более высокому уровню построения. В связи с этим отсутствием параллелизма между общим ходом эволюции центральной нервной системы и степенью развития уровня пространственного поля нельзя не отметить, что этот уровень, в сущности, еще не кортикальный. Правда, у человека и высших млекопитающих он связан с корой полушарий, но лишь с самой ее периферией — с пирамидными полями, очень метко названными кем-то «передними рогами головного мозга», и ничуть не хуже работает у тех животных, у которых нет ни коры, ни пирамидного пути.

Наоборот, уровень, о котором идет речь в настоящей главе, целиком кортикален (он, правда, имеет очень разнообразные связи, широко распространяющиеся и на субкортикальные системы, причины чего уяснятся из дальнейшего) и составляет почти исключительную принадлежность человека. Такое резкое отличие его по эволюционному положению от нижележащих уровней подчеркивает огромные, далеко еще недооцененные, принципиальные отличия коры от более древнего ядерного типа организации нервных агрегатов. Уже в гл. I было указано, что головной мозг на очень большом отрезке филогенетической истории выполнял подсобные функции при эффе́кторах и высших рецепторах, развиваясь у них на поводу, и лишь сравнительно недавно вышел на ведущие позиции. По-видимому, принцип коры открыл совершенно новые, неизведанные возможности. Судя по многим признакам, сейчас происходит (вряд ли уловимый непосредственно, как простой глаз не видит хода часовой стрелки) интенсивный рост биологического примата нервизма, когда головной мозг возглавляет и эволюционно ведет за собой не только всю соматическую систему, но и вообще всю жизнедеятельность, как в норме, так и в патологии.

Сама собою напрашивается мысль, что все эти возможности открылись для мозга благодаря коре с ее совершенно особой структурой. Как знать, к чему это поведет в ближайшие миллионы лет?

Излагаемая в этой книге теория координации основывается на положении, что качественно различные афферентации, связанные с различными анатомически локализуемыми образованиями центральной нервной системы, координационно управляют различными группами движений, очень несходными между собой по ряду признаков. Для стволовой и подкорковой части мозга это положение создавало удобные и легко применимые систематизационные признаки, так как там мы находили четко разделенные между собой афферентационные системы и столь же явные анатомические, неврональные соотношения.

Наоборот, оба эти признака очень сильно осложняются и делаются расплывчатыми при переходе к кортикальным образованиям. Уже на уровне пространственного поля, афферентация которого захватывает ряд низовых, древнейших полей коры полушарий, мы встретились с очень сложным афферентационным синтезом, чрезвычайно обобщенным и далеким от первичных сенсорных элементов. Афферентация более высоких уровней построения движений еще сильнее обобщена, еще дальше отодвинута от первичных рецепций и в еще большей мере опирается на мнестический (сохраняемый памятью) багаж предшествующего опыта. Расчленив афферентационные уровни, а тем более отнести их к определенным кортикальным полям и системам проводящих путей представляется здесь чрезвычайно трудным делом.

С чисто морфологической стороны строение коры полушарий вполне соответствует этой функциональной слитности и обобщенности. В то время как в нижележащих системах мы имеем перед собой отдельные клеточные ядра, связываемые между собой пучками волокон, довольно легко анализируемыми и по их неврональному составу, и по иерархическим взаимоотношениям, кора мозга построена как

сплошной слой клеток, простеганный во всех направлениях сплошным же слоем волокон белого вещества. Кроме первичных полей и слоев («входных и выходных ворот коры») и тесно примыкающих к ним вторичных (как *area parastriata*, или премоторная зона), все остальные цитоархитектонические отделы коры полушарий не обнаруживают уловимых иерархических соотношений, а может быть, и не имеют их в раз и навсегда постоянном виде. Проблема кортикальной локализации бесспорно принадлежит к числу труднейших принципиальных проблем современной неврологии, и это в значительной степени именно потому, что в коре особенно сложны и особенно функционально изменчивы связи и соотношения ее анатомических приборов.

Эта синтетичность функций, слитность морфологического строения и осложненность иерархических взаимоотношений проявляются, конечно, и в том, что уровни построения движений, связанные с корой, оказываются гораздо более неявными, переходящими один в другой и лишь с большим трудом поддающимися описательному вычленению. В некоторых случаях, при анализе некоторых видов движений, явственно обнаруживается наличие целого ряда иерархически подчиненных друг другу уровней, каждый из которых дает о себе знать в таком анализе либо своей особой перешифровкой, либо своим особым качеством избирательных патологических нарушений. В других случаях, наоборот, даже расчленение двух четко разделенных уровней невыполнимо с достаточной уверенностью.

Физиологический анализ движений кортикальных уровней находится еще в зачаточном состоянии. Основной материал для анализов этих движений до сих пор дает клиника очаговых поражений головного мозга и, в некоторой малой степени, опыты с экстирпациями корковых участков у высших обезьян. С этим-то материалом, обладающим всеми принципиальными недостатками материалов клинических выпадений, нам и придется теперь преимущественно иметь дело.

Как следует из всего сказанного, мы не имеем права приписывать намечаемым здесь кортикальным координационным уровням ту же анатомическую и функциональную четкость, какая, естественно, устанавливалась для уровней низовых (впрочем, уже в уровне Спришлось выделить два сросшихся между собой подуровня). Может быть, правильнее будет до последующих уясняющих экспериментов рассматривать описываемые в дальнейшем уровни *D* и *E* как многослойные комплексы уровней с пока не уловимыми, а может быть, и объективно нестойкими подразделениями между ними, но при этом избегать догадок, не оправдываемых имеющимся фактическим материалом.

Описываемый в этой главе уровень *D* почти монопольно принадлежит человеку, недаром именно в нем строятся главные фоны речевых и графических координации, и явно еще далек от своей кульминации. Он едва-едва представлен в виде единичных проявлений у наиболее высокоразвитых млекопитающих — лошади, собаки, слона; у Брэма можно найти на эту тему много более или менее правдоподобных историй. Даже у высших обезьян процент его очень мал, и (как и у человека в раннем онтогенезе, на втором году жизни) к нему прибегают только после неудачи решить возникшую задачу на более привычных низлежащих уровнях. Эта специфическая присущность человеку описываемого «уровня действий» и явилась причиной того, что он был первоначально нахупан клиницистами в негативной форме выпадений при локализованных определенных образом кортикальных очагах. Надо сказать, что и на человеке экспериментальная физиология до сих пор не может что-либо добавить к фактам, добытым клиницистами, так как раздражение обнаженной коры, регистрация биоэлектрических потенциалов мозга и т. п. не в состоянии пока ничего установить по этому поводу. Мы также возьмем за отправную точку негативное определение, но поставим себе задачу дойти до возможно более ясной *позитивной характеристики* анализируемого уровня.

Для всех очень многообразных и разнохарактерных клинических картин двигательных нарушений в уровне действий (эти картины объединяются под общим названием *апраксий*, хотя удачнее было бы называть их диспраксиями) характерно не только отсутствие каких-либо стойких моторных выпадений — параличей, парезов и т. п., но и каких-либо стабильных расстройств координации в общеупотребительном значении этого слова. При апрактическом нарушении страдает не координация двигательного акта, а его реализация. При наличии полного понимания сути и смысла возникшей двигательной задачи (этим апрактик отличается от агностика, у которого подвергается распаду самое осмысление задачи) утрачивается тот мостик, который ведет от восприятия задачи к ее двигательному решению. Апрактик не безрук — он только беспомощен. В проти воположность атактику с распадом уровня пространственного поля, которого не слушаются собственные руки, больному описываемой категории (в случае, не осложненном приводящими фоновыми нарушениями) покорны все органы, но он сам не умеет сделать посредством их ничего, что выходило бы за пределы элементарных двигательных комбинаций, доступных и высшим животным. При этом пациент безнадежно теряет способность к приобретению или восстановлению умений и навыков, сколько-нибудь превышающих эти элементарности. Правильно осмысливая задачу, апрактик не заблуждается и относительно своего неуспеха в ее решении: как правило, он недоволен собой, отличаясь этим от тех душевнобольных, у которых подобный же неуспех бывает связан с утратой критической оценки своих действий. Итак, на фоне сохранности как активной подвижности, так и элементарной кинетической управляемости моторной периферии, при отсутствии каких-либо грубых потерь в силе, скорости, точности движений и т. п., налицо факт выпадения огромных контингентов двигательных актов и их усвояемости.

Обширные клинические наблюдения над больными этого рода, восходящие еще к Nothnagel и H. Jackson и впервые

глубоко проанализированные Liepmann в 900-х годах, позволяют прежде всего выделить в качестве особого координационного уровня класс *действий* (иначе — предметных действий, смысловых цепей и т. п.). Это выделение вполне оправдывается четкой избирательностью выпадений двигательных актов этого класса при кортикальных болезненных или травматических очагах с различными, но вполне определенными локализациями. Анализ того, что теряется при таких очагах в области двигательных координации, а что сохраняется без ощутимых изменений, позволяет отграничить *уровень действий* от ранее описанных уровней и наметить его важнейшие позитивные отличительные особенности.

Невозможно было бы говорить о кортикальной локализации этого уровня, не разбередив попутно всю сложную проблему кортикальных локализаций в ее целом. Все, на что мы можем быть сейчас уполномочены, — это на выделение тех полей коры, без которых нормальное функционирование уровня действий невозможно и поражения которых вызывают очерченные выше синдромы апрактических расстройств. Как общее правило, факты связи определенных локальных поражений в коре полушарий с определенными же функциональными синдромами выпадений доказывают только, что эти особые места поражений являются *пунктами обязательного транзита* данной формы нервного процесса — узловыми станциями, без прохода через которые эта форма нервного процесса не имеет возможностей к реализации. Только такие пункты обязательного транзита, очевидно, соответственно «входные» и «выходные ворота» нервного процесса данного уровня, и могут быть сейчас указаны для локализации уровня действий. Характерным образом эти поля группируются в двух участках каждого полушария, довольно далеко отстоящих друг от друга. Одна группа располагается в *нижних отделах теменной доли* полушария, занимая срединное положение между сенсорными полями зрительными (затылочная доля) и слуховых восприятий (височная доля) и полями синтетической танго-рецепторики (задняя цент-

ральная извилина), равно как и примыкающими к ним интермедиарными зонами. Вторая группа полей этой системы помещается непосредственно впереди от двигательного пирамидного поля 4; ее называют обычно *премоторной зоной* (группа 6а и 6б Brodmann). К нижней границе премоторной зоны примыкает вплотную поле «двигательного центра речи» Брока (рис. 47, 70—72).

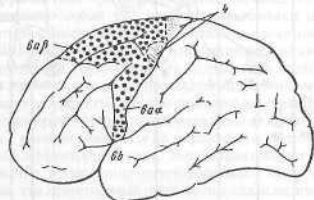


Рис. 70. Схема расположения на полушарии пирамидного поля 4 и премоторных полей 6 (по O. Foerster) —

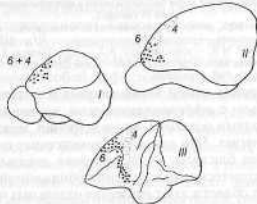


Рис. 71. Расположение на полушарии пирамидных полей 4 и премоторных полей 6 у разных животных и их постепенная функциональная дифференциация. (по O. Foerster)

Ar pyr 85 Areue Cxtropurumidalis

1ft Q 1ft 1ft

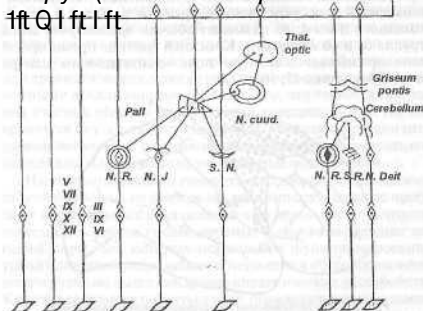


Рис. 72. Система связей коры большого мозга с подкорковыми ядрами

(по O. Foerster).

Верхняя полоска — кора, внизу — периферические мотонервы, соединенные с мышечными единицами — мотонами. Римские цифры от I до XII — ядра черепно-мозговых нервов. N.R. — красное ядро; N.J. — ядро Льюиса; S.N. — substantia nigra; N.D. — зубчатое ядро мозжечка; N. Deit. — ядро Дейтерса; N. — хвостатое ядро (striatum); Pall. — pallidum.

Первая группа полей тесно связана с анатомически, и функционально с афферентационными, первичными и вторичными, полями осязания, слуха и зрения, между которыми она и залегает. Что касается премоторных полей, то их функциональная близость к эффекторике доказывается уже тем, что электрические раздражения обнаженной поверхности коры в их области дают движения отдельных частей тела, чего никак не получается при раздражениях в теменной области. Эффекты раздражения премоторных полей отличаются от эффектов прямого раздражения пирамидной зоны бо-

лее высокими порогами, ярко выраженными явлениями суммации раздражений, облегчения и остаточного разряда, значительной временной задержкой наступления двигательной реакции на раздражения и, наконец, тем, что возникающие в результате их двигательные ответы не являются изолированными эффектами с одной мышцы или узкой мышечной группы (как при раздражениях пирамидной зоны), а представляют собой уже своего рода обломки целостных движений, синергетически вовлекающих в реакцию как взаимно антагонистические, так и протагонистические мышечные группы. O. Vogt нашел, что надрез коры вдоль границы между премоторными и пирамидными полями немедленно снимает эти эффекты, т. е. что двигательные реакции на раздражения премоторных полей возможны не иначе, как транзитом с премоторного поля на пирамидную систему и пирамидный эффекторный путь. Миелоархитектонические исследования проводящих путей головного мозга показали, однако, что премоторные поля имеют связи не только с пирамидными полями коры, но и с pallidum и даже с низовой ядерной группой экстрапирамидной эффекторной системы (см. рис. 72) (относительно связей со striatum вопрос еще недостаточно ясен). Таким образом, премоторные поля эффекторны и по местоположению, и по связям, и по эффектам экспериментальных раздражителей, но в тоже время не представляют собой эффектора не только прямого и ясного типа, как, например, гигантоцеллюлярный пятый слой пирамидного поля, но и осложненного иерархической многотажностью, как striatum. Тем не менее, как будет показано ниже, то, что распадается при темных очагах, явно представляет собой афферентационные функции sui generis, а те отправления, которые испытывают наиболее яркий ущерб при разрушении премоторных полей, очень близки по своему смыслу к эффекторике, но только раскрывают это понятие в совсем новом и своеобразном содержании. Положение премоторных полей в функциональном отношении

напоминает положение полей 18 и 19 зрительной области: это, так сказать, вторичные эффекторные зоны.

Очерк локализации кортикальных аппаратов уровня действий страдал бы существенным пробелом, если бы мы не упомянули здесь же еще об одной важной ее черте. Необходимой зоной для обеспечения отправлений уровня действий является левая ниже-теменная область, связанная по закону, общему для всей коры полушарий, с правой стороной тела. В прямой связи с этим в уровне действий впервые отчетливо проступает неравнозначность обеих сторон тела, т. е. праворукость (или леворукость). В уровне пространственного поля, а еще более в нижних уровнях *Вп А* эта функциональная неравнозначность незаметна¹. Как было указано в предыдущей главе, для движений уровня пространственного поля очень легко осуществляется викарная подстановка одной руки вместо другой. В уровне действий и общая структура каждой руки, и нацеленность их теми или другими частными приобретенными при жизни навыками могут быть очень разными по качеству и составу, что может пригодиться как вспомогательный признак для распознавания принадлежности двигательного акта к уровням Сили *D*: навыки, относящиеся к уровню действий и опирающиеся на его ведущие афферентации, не дают, как правило, легких переносов, или викариатов, из одной руки в другую.

Обращаемся к функциональному анализу описываемого уровня. Как и в предшествующих разделах, мы дадим вначале характеристику его афферентации, затем общий очерк определяющих свойств его двигательных отправлений, и только обзор характеристических функциональных выпаде-

¹ Как будет подробнее показано в гл. VII, в результате резкого преобладания у взрослого человека уровня действий и его двигательных континентов над всеми другими уровнями построения постепенно создается общий перевес развития доминантной стороны двигательного аппарата над субдоминантной: перевес силы, быстроты и т. п. правой руки над левой, что сказывается затем уже вторичным порядком и на движениях низших уровней.

ний будет целесообразнее в очерке данного уровня предположить перечню его нормальных целостных двигательных актов.

Ведущая, афферентация уровня действий *D* есть предмет. Очевидно, причисление предмета к разряду афферентаций подразумевает очень широкую трактовку последнего термина. Психологический образ предмета представляет собой результат гораздо более глубоких обобщений и гораздо более сложной синтетической связи между сенсорными и мнестическими составляющими, нежели синтез, описанный в предыдущем разделе под названием пространственного поля.

Ведущим мотивом в уровне действий является собственно не предмет сам по себе, как геометрическая форма, как нечто с определенной массой, консистенцией и т. п. (см. об этом ниже), а *смысловая сторона действия с предметом* — все равно, фигурирует ли предмет в этом действии как его объект или еще и как его орудие. Именно этот мотив разрушается при так называемой агностической (иначе — идеаторной) апраксии, о которой будет подробнее сказано в последующем тексте. Афферентационными системами описываемого уровня являются те функциональные системы, которые осмысливают чувственно предьявленный предмет и определяют, что именно и в каком цепном порядке можно и нужно делать с этим предметом.

Для последующего анализа целесообразно ввести два понятия, созданные невропатологами и обладающие несомненной эвристической ценностью: понятия *смысловая структура действий* и его *двигательного состава*. Смысловая структура двигательного акта определяется содержанием возникшей задачи, и, в свою очередь, сама определяет тот сенсорный или сенсорно-гностический синтез, который адекватен задаче и может обеспечить ее разрешение, и тем самым определяет и созвучный этой задаче ведущий уровень построения. Двигательный состав действия есть уже результат столкновения между собой, как бы итог подстановки в некоторое общее уравнение, двигательной задачи и кинетических возможностей, находящихся в распоряжении орга-

низма для ее решения. Двигательный состав включает в себя и перечень последовательных элементов цепи, если речь идет о цепном действии, и определении двигательных приемов, соответствующих этим элементам, и фоновый состав симультанных компонент сложного движения. Двигательный состав определяется и биомеханическим устройством рычагов и кинематических цепей тела, и иннервационными ресурсами, и фактическим инвентарем сенсорных коррекций и, наконец, орудием, которое может быть применено для выполнения потребовавшегося действия. Таким образом, двигательный состав есть функция как задачи, так и ее исполнителя. Одну и ту же задачу быстрого перемещения в пространстве человек решает спринтом (или велосипедной ездой и т. п.), лошадь — галопом, птица — полетом и т. д. Выявление и формирование двигательного состава движений и действий рассматриваются в гл. VIII. После этого небольшого отступления обратимся к смысловой структуре действий рассматриваемого здесь класса, поскольку она самым непосредственным образом связана с афферентационной стороной работы уровня, так же как двигательный состав действий неразрывно слит с его эффекторной частью.

Название «предметных действий», часто присваиваемое смысловым цепям уровня *D*, несомненно, оправдано подавляющим процентом в этом уровне актов, имеющих по самому их существу дело с предметом. В этом проявляется характерное для психологической иерархии уровней постепенное возрастание их объективации, направленности на активное, изменяющее мир взаимодействие с последним. Предметность как свойство координационных контингентов движений неуклонно «энцефализирует-ся». В удел низовым уровням параллельно с переходом их во все возрастающей мере на служебные, фоновые рельсы достаются преимущественно «проприомоторные» движения и компоненты, обуздывание и мобилизация собственного тела, представляющего по мере увеличения его подвижности и возрастания утонченной сложности предъявляемых к нему требований все боль-

шие трудности для управления. Бесспорно и то, что сами по себе контингенты движений становятся по ходу эволюции все более предметными; роль/туки в этом процессе оттенена в достаточной мере основоположниками современного научного мировоззрения. Предмет фигурирует в двигательных актах уровня действий и как объект для манипулирования с ним, и как орудие действования, и, наконец, как символ, облегчающий и конкретизирующий отвлеченные действия: чертеж, шахматная фигура, написанная буква или иероглиф и т. д. Несомненно, впрочем, принадлежность к этому же уровню и целого ряда совсем беспредметных действий (если только не расширять до неимоверности пределы понятия предмета): спортивных игр, тактических боевых действий и т. п.

Большой интерес для учения о координации представляет далеко еще недоисследованная особенность предметных действий, выражающаяся в ведущей роли захватываемой предметом при подобных действиях, и свидетельствующая о чрезвычайно глубоких, всецело ускользающих от сознания, координационных перешифровках. Когда предмет фигурирует в качестве инструмента при высокоавтоматизированной привычной работе, он прямо переживается исполнителем действия как органическая часть собственного тела, вплоть до иллюзии активного, ведущего управления движениями, как будто бы исходящего из этого инструмента.

Предмет сам по себе существует в пространстве и во времени. Точно так же и смысловая сторона действования с этим предметом содержит в себе смысловое восприятие и расчленение *пространства*, в котором организуется действие, и синтетическое переживание времени, в котором строится последовательность и смысловая связь элементов цепного действия. Афферентация уровня действий включает в себя и синтетическое пространство, и синтетическое время, но в совершенно другом виде, с другими характеристиками, нежели те, с какими они встречались на нижележащих уровнях построения. Очерк изменений и осложнений обеих этих

психофизиологических категорий при восхождении к уровню действий поможет яснее выделить их особенности, приписуя этому уровню.

Уже в предыдущем разделе была рассмотрена *эволюция синтеза «пространства»* от самых низовых уровней до верхнего подуровня пространственного поля. Подробно проанализированное там пространство этого последнего подуровня, полностью экстрацированное, метричное (т. е. наделенное *масштабом*) и геометричное (т. е. содержащее компоненты геометрической *формы* и геометрического *подобия*), представляет собой самое объективированное из «пространств», присущих различным уровням построения движений. Оно опирается на филогенетически наиболее новую и наиболее совершенную рецепторику по сравнению с нижележащими уровнями и притом строится в самых периферических системах коры по сравнению с вышележащими уровнями, уже более абстрагированными и более далекими от первичного сенсорного материала.

Пространство, в котором организуются предметные действия, обладает целым рядом особенностей, оказывающих влияние не только на структуру общего ведущего афферентационного синтеза этого уровня, но и на само координационное построение протекающих в нем движений. Уже на уровне *C2* намечился отрыв от несленяемой координаты (возможность срисовывания вместо обрисовывания по типу *CI*) и от неизменного масштаба (появление подобия вместо конгруэнтности, характерной для *CI*). На уровне действий абстрагирующее преобразование пространства идет еще дальше. Вместо геометрической формы появляется *схема*, т. е. *метрические, размерные соотношения* заменяются *топологическими, качественными соотношениями*. Пространство предметного уровня теряет в конкретности, но зато выигрывает в упорядочении, осмыслении, выделении существенно по сравнению с уровнем пространственного поля. В нем выделяются и организуются качественные понятия замкнутой и разомкнутой фигуры, представления «над» и «под»,

«вне», «внутри», «между» и т. п. Происходит то, что психологи называют категориальной организацией пространства, и то, что обозначается нами здесь как возобладание топологической смысловой схемы над геометрической формой.

Во всяком геометрическом образе мы можем различать *его топологию и его метрику*. Топологией геометрического объекта следует называть совокупность его качественных особенностей, вне зависимости от его величины, формы, той или иной кривизны его очертаний и т. д. К топологическим свойствам линейной фигуры нужно относить, например, следующие: замкнутая это фигура или незамкнутая, пересекают ее линии сами себя, как в восьмерке, или не пересекают, как в окружности, и т. д. Кроме этих свойств, лишенных в своем определении какого бы то ни было признака количества, мы должны будем в нашем аспекте отнести к топологическим свойствам и такие, которые включают в себя *число*, по-прежнему не включая, однако, никакой *меры*. К таким свойствам можно отнести, например, четырехугольность, принадлежность к типу пятиконечной звезды и т. п. Все фигуры верхнего ряда на рис. 73 принадлежат к одному и тому



Рис. 73. *Поверх* — ряд разновидностей топологического класса пятиконечной звезды; *внизу* — одна замкнутая фигура, не принадлежащая к этому классу, и серия представителей топологического класса буквы *A*

же топологическому классу, будучи при этом совершенно несходными между собой в отношении метрики. Действительно, все они имеют по пяти углов, или лучей, все содержат по пяти пересечений составляющих их линий и т. д. Фигура 6 того же рисунка относится уже к другому классу, содержа четыре угла и одно пересечение, обладая в то же время общностью с первыми пятью фигурами по признаку замкнутой фигуры с пересекающимися линиями. Для характеристики топологических свойств этого рода на знакомом и привычном примере следует указать, что *каждая буква печатного шрифта* есть отдельный топологический класс, причем к единому классу буквы «А» принадлежат, очевидно, прописные буквы «А» всех размеров шрифта, очертаний, гарнитур и т. д., если только пренебречь некоторыми добавочными черточками чисто каллиграфического значения. Нарисованные мелом фигуры «игры в классы», каждую весну во множестве появляющиеся на тротуарах, — тоже представители одного и того же топологического класса для каждой разновидности игры, и при этом совершенно независимо ни от масштаба рисунка, ни от умения рисовавшего. Привычная схема, по которой данный ребенок рисует «дом» или «человека», также обычно есть определенный топологический класс — и не более того.

Именно эти-то категории, целиком принадлежащие топологии, а не геометрической метрике, определяют собой свойства пространственного синтеза уровня *D*. Как раз очень выразительным проявлением примата топологической схемы над формой в описываемом уровне служат элементы двух характернейших его отправлений: буква в ее написании и речевой звук его фонетической реализации. Обращаясь к *букве* как объекту, более осязаемому и удобному для характеристики, отметим, что не только ее смысловая суть зависит исключительно от топологии взаимного расположения ее штрихов, а не от геометрических признаков, но и *движения* при ее написании столь же топологичны, не связаны ни с

метрикой размера, ни с метрикой формы и геометрического подобия.

В связи со сделанным выше анализом эволюции афферентационного пространства, стиль которого на каждом из уровней через сенсорные коррекции определяет и стиль получающихся на нем движений, заслуживает внимания одно интересное явление. Выше уже было указано, что автоматизация движения состоит в переклещении ряда координационных фоновых компонент движения в нижележащие уровни, что связано и с их переключением на другие *афферентации*. Отсюда следует, что в частном, но очень распространенном случае автоматизации фоновых компонент вниз, на уровень синергии, эта автоматизация должна сопровождаться заменой зрительной афферентации на осязательно-проприоцептивную, т. е. *выключением зрительного контроля* над соответствующей компонентой. Логика требует, если наша обобщенная трактовка автоматизации верна, чтобы существовали и такие случаи автоматизации (на этот раз связанные с передачей из *уровня действий* вниз на уровень пространственного поля), при которых *е* наступление сопровождалось бы не снятием, а, наоборот, *включением* зрительных коррекций. Действительно, такие случаи существуют. Нормальный взрослый с обычным для нормы резким преобладанием предметного уровня рисует всегда схемы, а не формы — то, что он осмысляет и обобщает, а не то, что он видит. Поэтому человеку, обучающемуся рисовать, приходится учиться видеть окружающий мир таким, каким он фактически рисуется на его сетчатке, учиться смотреть на натуру и воспроизводить ее в правильном освещении и перспективе, а не осмысливать натуру и рисовать вместо нее идеогаммы, как делают все, не умеющие рисовать. Приобретение умения или навыка рисования с натуры — очень показательный случай такой автоматизации процесса, строящегося на уровне действий, самая суть которой как раз и состоит в умении включить оптический контроль. Разумеется, он используется у умелых

рисовальщиков бессознательно, как это и подобает всякому автоматизированному акту¹.

Не умножая примеров, необходимо прибавить к характеристике пространственного синтеза уровня действий еще только две вещи.

Во-первых, не только в плане афферентации, но и в плане управляемой ею аффекторики пространству уровня *D* строится по принципам топологической схемы, а не геометрической формы. Это не значит, конечно, что движения, поднявшиеся до этого уровня, обязательно перестают быть метричными, а значит только, что *все, вносимое в движения этим уровнем, топологично, а не метрично*. Если в уровне действий встречаются метричные движения, это говорит о том, что в них для обслуживания какой-либо фоновой компоненты участвует уровень пространственного поля. Но разница с самостоятельными движениями в уровне *C*, что эти последние движения не могут не быть метричными (иначе это уже распад уровня *C*, атаксия), тогда как двигательные акты уровня действий не метричны, как правило, и метричны только в упомянутых частных случаях. Почерк не метричен — об этом уже упоминалось. Не метрично снятие шляпы, закуривание папиросы, изображение домика или человека. По самому глубокому своему существу топологично,

¹ Художник И. Грабарь сообщает в своих воспоминаниях о натурном классе Академии художеств очень характерный эпизод: «Одному из рисовавших здесь Павел Петрович (известный художник-педагог П. П. Чистяков) упрямо не хотел давать указаний, избегая заглядывать в его рисунок. Тот решился, наконец, спросить, почему он ему не скажет чего-нибудь, и получил такой ответ:

— Да что говорить-то? У нас есть дома прислуга!

— Есть.

— Ну больше ничего и не надо. Возьмите натурщика, посадите прислугу сзади себя и только бегите через каждые пять минут повторять: «Барин, поглядите на натуру». Только и всего. Мигом она вас научит. А то ведь вы все от себя рисуете, на натуру-то и не смотрите* (Грабарь И. Моя жизнь. — М., 1937. — С. 101).

Если такие замечания возможны в натурном классе Академии художеств, да еще в эпоху самого разгара реалистических устремлений в живописи, то что же говорить о простых смертных?

а не метрично завязывание и развязывание узла, надевание резинового колечка на коробку, набирание кружкой воды из водовместителя и т. п. Во всех этих случаях вопрос об успехе движения решается по его качественному (топологическому), а не метрическому результату: узел вышел или не вышел, колечко наделось или прошло мимо, кружка попала в ванну или нет, пролила набранную воду или нет и т. п. Поэтому получается, что у атактика, испытавшего распад уровня пространственного поля, значительная часть движений уровня действий не гибнет, и страдают только те предметы действия, которые существенно нуждаются в метрических фонах из уровня *C*.

Во-вторых, описанное сейчас качественное, смысловое преобразование пространства, свойственное уровню действий, тесно связано с формированием самого понятия *предмета*. Оно совершается не беспричинно и абстрактно, а представляет собой одну из сторон эволюции геометрического (зрительного или осязательно-проприоцептивного) образа — цветного, весомого, смещаемого и т. п. — в обобщенный смысловой образ вещи или предмета. Для геометрического образа существенна его форма и метрика; для предмета то и другое весьма второстепенно. Бесспорно, метрика является определяющей для таких предметов специального назначения, как линейка, лупа, лезвие ножа, транспортир. Но что существенно, например, для чашки как объекта для смысловых манипуляций? Ни ее ширина, ни высота, ни обладание круглой или квадратной формой не имеют существенного значения; ей важно иметь сплошные стенки, целое дно и ручку — все признаки чисто топологические. По этим признакам каждый ребенок осмыслит чашку, даже если перед этим он никогда не встречал чашек с подобной метрикой, и сумеет правильно применить ее по назначению. Что существенного содержится в метрике таких предметов, как бутылка, вилка, шпилька, молоток, пуговица, карандаш? Конечно, каждый из нас испытывал бы мало удовольствия, если бы его обули только в топологический, но не метриче-

ский ботинки, — но уже было упомянуто о значимости в некоторых ситуациях метричных фонов.

Время проделывает не меньший путь развития от уровня к уровню, но его эволюция изучена меньше. В уровне синергии оно всего яснее проступает как ритм (т. е. как временной узор); в уровне пространственного поля — как момент (например, при прицеливании), синхронность, длительность, скорость. В уровне действий оно выступает как смысловая или причинная последовательность; как связь сукцессивных элементов цепи, из которых складывается действие. Время организуется в предметном уровне тоже не метрически, а топологически или категорически: в нем откristаллизовываются элементы «прежде», «потом», «post hoc» и «propter hoc».

Эволюция взаимоотношений пространственных и временных синтезов с афферентными и эффекторными системами соответственных уровней складывается существенно по-разному. Пространственные синтезы на всех уровнях теснее связаны с афферентацией. На уровне Сони образуют объективированное внешнее поле для упорядоченной экстракции чувственных восприятий. На уровне действий они создают предпосылки для смыслового упорядочения мира, помогая вычленению из него объектов для активных манипуляций. Так из афферентации вырастает (субъективное) пространство, из пространства — предмет, из предмета — наиболее обобщенные объективные понятия. Наоборот, временные синтезы на всех уровнях стоят ближе к эффекторике. На уровне синергии они вливаются в самый состав движения, воплощая его ритмовую динамику. На уровне пространственного поля они определяют скорость, темп, верное мгновение для меткого активного реагирования. На уровне предметного действия время претворяется уже в смысловую связь и цепную последовательность активных действий по отношению к объекту. Из *эффекторики* вырастает таким путем (субъективное) время, из времени — смысловое действие; из последнего на наиболее высоких уровнях — поведение; наконец, верховный синтез поведения — личность или *субъ-*

ект. Здесь представляет бесспорный интерес то обстоятельство, что согласно закону Bell и Magendie не только у древнейшего (спинного и ствольного) мозга афферентационной стороной является его *спинная* (у человека — задняя) сторона, но и кортикальные поля, как связанные непосредственно с сырой рецепторикой, затылочные, височные и заднецентральные, так и интермедиарные поля теменной доли, связанные со смысловой организацией категорий пространства. И объекта, заполняют собой *задние* же половины больших полушарий. Таким образом, эволюционная цепочка «афферентация — пространство метрическое и топологическое — вещь — объект в его наивысшем обобщении» с самого начала и до конца остается связанной с задними отделами мозга. Наоборот, цепочка «эффекторика — время — субъект» точно так же на всех уровнях проявляет более близкое системное родство с *передними*, эффекторными отделами мозга и сильнее дезорганизуется при соответственно локализованных болезненных очагах. В своеобразное развитие и продолжение закона Bell и Magendie находит свое отражение и в локализации рабочих аппаратов уровня действия, как будет вскоре показано.

Точно так же, как пространство и время, *предмет* не впервые появляется на сцену в двигательных актах уровня действий. Наоборот, взаимоотношения движущегося органа с предметом имеют по необходимости место на всех уровнях построения, но только строятся во всех них по-разному. Это стоит отметить хотя бы для того, чтобы предостеречь от причисления к уровню действий при систематизации движений или диагностики их нарушений того, что к нему, безусловно, не относится.

Схватывание и держание предмета встречаются учелопска уже на самом низовом уровне построения — на рубро-спинальном уровне А, начиная от тонических фиксаций, наблюдаемых у новорожденного ребенка с первых же дней жизни (см. гл. VII). Уже не в роли ведущего уровня, как у младенца, а в порядке реализации фонов уровень А участвует в акте схватывания и держания предмета и у взрослого.

Именно он обеспечивает то безукоризненное обхватывание, облегание вещи пальцами при любой форме, которое навело Bethe на практически ценную мысль об устройстве обхватывающего кистевого протеза (рис. 74 и 75), но при этом на неправильное теоретическое обобщение. Он был не прав в том, что сблизил этот механизм приспособливания кисти к форме вещи, механизм «скользящего сопряжения», не с явлениями пластического или текучего юкскюлевского тонуса, как бы следовало, а с механизмами компенсационного приспособления при локомоциях, которые, как мы видели, реализуются гораздо выше, уже на уровне пространственного поля. Это привело к попытке отождествления двух механизмов, ни анатомически, ни функционально не имеющих между собой ничего общего, и отделило Bethe от правильного решения вопроса.



Рис. 74. Кистевой активный обхватывающий протез Bethe, построенный им по принципу «скользящего сопряжения»

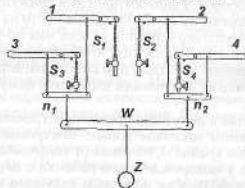


Рис. 75. Схема Bethe, изображающая сущность механизма «скользящего сопряжения» (der gleitendc Kopplebg), примененного им к кистевому протезу

Уровень синергий участвует как фон в целом ряде предметных движений — либо косвенно, через поддержание локомоции, в свою очередь играющей роль фона в предметном действии, либо в порядке осуществления прямой фоновой синергии. Однако непосредственно с предметом как таковым этот уровень общается мало. Явственные предметные компоненты мы находим вновь только в уровне пространственного поля. Предмет представлен в этом уровне очень разнообразно.

Во-первых, он фигурирует в нем как пункт для приложения сил, как физическое тело, нечто весомое и смещаемое. Мяч в спортивной игре¹, ядро или диск в соответствующих упражнениях — это не предметы, как объекты или орудия действия из уровня *D*, а вещи из уровня пространственного поля, обладающие определенной формой и консистенцией, весомые и смещаемые, в сущности, — материальные точки, в качестве каковых их и приходится очень часто рассматривать в биомеханике.

Во-вторых, предмет в уровне пространственного поля — это нечто такое, что можно взять, достать, положить, принести, забросить, засунуть, выхватить. В этом направлении очень интересны наблюдения над животными, для которых уровень действий или вовсе недоступен, или труден. Если курица видит корм, находящийся за решеткой, то она в состоянии реагировать на него только в уровне пространственного поля, т. е. бесплодно рваться к нему по оптической прямой кратчайшего расстояния. Собака или обезьяна уже довольно легко переключается в подобном случае на уровень предметного (цепного) действия, идет не к объекту, а прочь от него, туда, где в решетке есть калитка, т. е. включает в свое поведение два последовательных взаимно обусловленных акта, первый из которых имеет мотивы не пространственные, а смысловые отношения. Высшие обезьяны способны а

¹ Спортивная игра как целое строится уже в уровне действий; здесь речь идет об отдельных successейных эпизодах действий с мячом.

(например, сходить за палкой). Но та же обезьяна, прежде чем произвести что-либо с предметом на уровне действий (например, соорудить башню из ящиков, чтобы достать высокоподвешенный плод), будет некоторое время бесцельно (на этот раз буквально) подпрыгивать и рваться к нему, пытаясь схватить его по прямой линии на уровне пространственного поля.

В-третьих, к уровню пространственного поля приходится причислить и некоторые случаи манипулирования с предметом, т. е. случаи, которые по первому взгляду прямо направляются на приращение их к уровню действий. Получив, например, в руки деревянное разъемное яйцо, полуторагодовалый ребенок (здесь приходится точно оговаривать возраст) или высшая обезьяна способны осмыслить его как вещь, которую можно и которую стоит раскрыть. Их афферентации, таким образом, начинают уже подбираться вплотную к уровню действий. Но и ребенок, и обезьяна подходят к решению возникшей задачи чисто геометрически: раз яйцо раскрывается в стороны, значит, для раскрытия надо и тянуть его половинки прямо в стороны. Это и предпринимается с напряжением всех сил, что нередко приводит в результате к тому, что как половинки яйца, так и его содержимое разлетаются во всех направлениях. Движения обоих ведет геометрический образ раскрывающегося яйца, а не предметный опыт, который мог бы подсказать им гораздо более надежные приемы открывания, расходящиеся с этим геометрическим образом (покачивание, откручивание и т. п.).

Только тогда, когда это будет достигнуто, можно будет говорить о том, что действие открывания переключилось на предметный уровень.

Итак, целый ряд случаев общения с предметом надо с самого начала исключить из описи движений, ведущихся на уровне действий: в первую очередь *движения хватки*, не только простой пластической (держание яблока, кольца, ручки чемодана и т. п.), но и квалифицированной хватки рабочего инструмента, и, далее, все те формы обращения, в ко-

торых предмет фигурирует как *материальная точка* в пространстве или ведет движение как *геометрический образ*. Все эти движения и расстраиваются при поражениях соответствующих низовых уровней, в то время как при них всегда уделают те из движений предметного уровня *D*, в которых фоны пространственного поля принимают лишь второстепенное участие, например движения одевания, умывания, утирания полотенцем, открывания коробки и т. п.

Прежде чем обратиться к перечням конкретных целостных двигательных актов уровня действий, мы должны кратко резюмировать их общие характерные черты при полноценной работе соответствующих отделов центральной нервной системы — общую характеристику тех двигательных действий, которые можно было бы назвать «праксиями».

Движения в уровне предметного действия представляют собой *смысловые акты*, т. е. это не столько движения, сколько уже элементарные поступки, определяемые смыслом поставленной задачи. Надеть и застегнуть пальто, смазать лыжи мазью, загнать футбольный мяч в ворота противника, культурно съесть яйцо, запечатать письмо в конверт, очинить карандаш, отшкурить плоскость доски — вот ряд примеров простейших предметных действий; и каждое из них представляет собой совокупность движений, которые в целом решают определенную смысловую задачу. В преобладающем числе случаев эти действия строятся как сукцессивные цепи, более или менее сложные по составу и имеющие в качестве связей между составляющими элементами не пространственные (кинетические, геометрические), а смысловые мотивы, не сводимые к простым перемещениям вещей в пространстве или преодолению сил.

В случаях, когда действие на уровне *Д* является подобным цепным процессом, среди движений-звеньев, образующих его двигательный состав, можно по большей части выделить *ведущие движения-звенья*, реализующие существенные смысловые этапы действия, и *вспомогательные*, или фоновые, играющие второстепенную по смыслу, но нужную слу-

жебную роль. Такими вспомогательными движениями-звеньями являются прежде всего всякого рода возрастные холодные движения (пиление, строгание, резание, штрихование и пр.) и движения замаха (ударные рабочие операции), а затем и многочисленные самостоятельные сукцессивные звенья подсобного назначения: взять орудие и опять отложить его по использованию, придвинуть вещь, придержать, смахнуть рабочие отходы и т. п.

Признак вариативности проявляется в актах этого уровня новым и очень характерным образом. Для уровня *В* показательным являлось почти полное отсутствие вариативности траекторий и поз, т. е. стойкая связь между сутью данного движения и его пространственно-кинематическим рисунком, подкрепленная еще во многих случаях явлением динамической устойчивости. На уровне *С* мы встретились уже с явлением широкой допускаемой взаимозаменяемости поз и траекторий и даже взаимозаменяемости исполнительных органов при точном, или инвариантном, отношении только к финальному, целевым координатам. В уровне действий вариативность, или взаимозаменяемость, идет еще дальше. И локализация уровня действий в коре, принесшей с собой в нервную физиологию максимальные возможности переключаемости и экстенпоральности, и ведущая роль в данном уровне смысловой стороны более или менее сложных манипуляций с предметом — все сообща ведет к огромному возрастанию в нем приспособительной вариативности. Даже в наиболее привычных, профессиональных, высокоавтоматизированных действиях в двух последовательных одинаковых операциях рядом не повторяются в точности ни номенклатура последовательных звеньев цепи, ни их порядок, ни число повторений отдельных звеньев. Здесь легко заменяются одни другими не только траектории или исполнительные органы, но и целые звенья цепи, которая реализует данное действие. Если мастеру нужно согнуть по длине вдвое узкую полосу жести, то цепочка его движений в целом ведется требуемым результатом, самые же движения-звенья цепочки мо-

гут бесконечно разнообразиться. Он попробует сделать гнб руками или плоскогубцами, в тисках или без них, постучит или не постучит по гнбу молотком (сперва еще достав его из шкафа посредством движения из инвентаря уровня пространственного поля), придавит или придержит изделие тем или другим приемом и жестом и т. п. Не говорим уже о том, что все имеющееся в предметном действии не от метрики, а от топологии (т. е. как раз самое характерное для этого уровня) по самой сути предполагает вариативность или индифферентность по адресу точной пространственной координаты. Неизменной и строго выдерживаемой остается всегда только основная, резульативная суть действия, и как раз во имя ее максимально строгого выдерживания все вспомогательные, фоновые компоненты лавируют и приспособляются в очень широких пределах. Однако в этой переключаемости и вариативной взаимозаменяемости элементов нельзя не заметить двух очень существенных и характерных ограничений, каждое из которых скрывает за собой целую физиологическую проблему. Мы вернемся к этому вопросу несколько

••• ко ниже в связи с анализом двигательного состава действий.

Одна особенность движений в предметном уровне, тесно связанная с рассмотренной выше смысловой организацией пространства, дает для них признак, правда, лишь негативный, но зато очень выразительный и часто хорошо пригодный для распознавания движений предметного уровня и для уловления момента его онтогенетического вызревания над более ранним по генезу уровнем пространственного поля. Дело в том, что движение в предметном уровне ведет не пространственный, а смысловой образ, и двигательные компоненты цепей уровня действий диктуются и подбираются по смысловой сущности предмета и того, что должно быть проделано над ним. Поскольку же эта смысловая сущность далеко не всегда совпадает с геометрической формой, с пространственно-кинематическими свойствами предмета, постольку среди движений-звеньев предметных действий выделяется довольно высокий процент движений, ведущих не

туда, куда непосредственно зовет пространственное восприятие и осмысление предмета. Выше, при разборе предметных движений уровня пространственного поля, было уже приведено несколько примеров двигательных актов, в которых движение ведется пространственным образом; в одних из движений этого рода уровень пространственного поля оказывался достаточным и адекватным, в других — приводил к полному или частичному неукладу всего предприятия. Процедура споласкивания кисточки в стакане с водой при рисовании на бумаге, открывания подъемной крышки шка-тулки путем прижатия ее книзу, извлечения винта из доски посредством не вытаскивания, а вращения его, поворачивания лодки против часовой стрелки путем поворота рулевой пластины по часовой стрелке — все это примеры суксесивных составляющих, ведущих «не туда», расходящихся с прямой геометрической логикой действия с предметом. Совершенно правильна забота конструкторов о том, чтобы в сложных механизмах геометрическая логика рычагов управления совпадала с предметной, технологической логикой: прекрасным примером могут служить хотя бы органы управления современных самолетов. Впрочем, автоматизируемость предметных актов, постоянно изобилирующих компонентами из категории «не туда», так велика, а описанная выше иллюзия непосредственного срастания своих органов с органами машины или инструментом так действительна, что были, например, случаи, когда летчики времен первой мировой войны, до стандартизации летательных машин, с удивлением узнавали от механиков, что схема управления того самолета, на котором они только что впервые в жизни летали, прямо противоположна общепринятой и привычной им за весь их предыдущий стаж¹. Выучиться ездить на велосипеде, скрестив руки так, чтобы правая кисть держала левую ветвь рулевой вилки, а левая — правую, гораздо легче, чем может показаться на первый взгляд.

¹ Такой случай был сообщен мне профессором С. Г. Телерштейном, которому я выражаю мою благодарность.

Итак, в отношении к предмету смысл действия уровня Д «стоит уже не в его перемещениях, а в гораздо более разнообразных и сложных формах изменения окружающей действительности. Зажигание спички, бритье, стирка, варка пищи, чистка башмака — в быту, изоляция электропроводки, крашение, сварка, заклепка, шлифовка и т. п. — на производстве представляют собой примеры простейших действий, результат и смысл которых явственно выходят за пределы перемещения вещей в пространстве. Производственные процессы особенно не очевидны в этом отношении и не нуждаются в отдельной мотивировке. Орудие, как и предмет, мыслимо и на уровнях ниже предметного (например, крокетный олоток, теннисная ракетка, хоккейная клюшка и т. п.), и то такое, что вносится в движения предметным уровнем, состоит не столько в факте применения орудия, сколько в способе и задаче этого применения.

Не менее характерными чертами обладают двигательные акты уровня действий и в отношении их двигательного состава. Прежде всего привлекает к себе внимание большая и специфическая упражняемость действий, их высокая автоматизируемость и свойственность этим актам явления, поручившего в литературе обозначения *высших автоматизмов*, предметных навыков, сноровок, *scilled movement*, *Handfertigkeiten* и т. п. Эти сноровки, или высшие автоматизмы, настолько многочисленны, настолько широко присущи и бытовым, и профессиональным действиям, наконец, настолько своеобразны по их качествам, что возникает настоятельное предположение, не представляют ли они собой все в совокупности особого координационного уровня, фонового по отношению к обслуживаемому ими уровню смысловых цепей-действий, но расположенного выше всех ранее описанных. Бесспорно, что эти сноровки никогда сами по себе не являются предметными действиями, т. е. не содержат в себе определяющей смысловой компоненты. Это подтверждается и тем, что при агностической и идеаторной формах апраксии они могут полностью сохраняться, но при этом, лишен-

ные смыслового управления, приводят к абсурдным результатам. При дементном распаде психики точно так же встречаются вполне сохранные автоматизмы с нелепыми результатами: старчески дементная больная прекрасно вяжет чулок с двенадцатью пятками, пациент-шизофреник пишет шегольским почерком бессмысленные персеверации букв и т. п. Автоматизмы являются в предметном действии не смысловыми элементами, а техническими средствами, и это уже доказывает, что сами по себе они организуются где-то ниже предметного уровня.

Предположение, что высшие автоматизмы образуют свой особый уровень, подчиненный предметному, как будто подкрепляется еще и тем, что они имеют и свою особую локализацию в коре, разумеется, локализацию только в смысле местоположения очагов, обуславливающих их выпадение: именно они и разрушаются при поражениях так называемых премоторных полей коры (см. ниже), и в их выпадении как раз и состоит то, что носит название премоторного синдрома. И тем не менее это предположение неверно, и природа всех высших автоматизмов описываемой категории совершенно иная.

Прежде всего надо отметить, что с явлением автоматизации мы встречались уже и раньше, при описании работы уровня пространственного поля, и там было установлено, что это явление сводится к постепенно совершающемуся переклещению ряда фоновых компонент сложного двигательного акта на нижележащие уровни, туда, где для них обратятся наиболее адекватные сенсорные коррекционные синтезы. Нет убедительных причин отвергать подобный же механизм и для образования высших, предметных автоматизмов.

Далее, внимательный анализ всевозможных высших автоматизмов (фактически выполненный нами над большим числом объектов при помощи циклограмметрического метода), как бытовых, так и профессиональных, спортивных, военных, навыка скорописи и т. д., убеждает в том принци-

пиально решающем обстоятельстве, что ни один из них не содержит ни в своих координационных коррекциях, ни в своем двигательном составе ничего, что выходило бы за пределы работы уже известных нам и ранее описанных уровней. Мы не обнаруживаем по отношению ни к одному из этих автоматизмов особого сенсорного синтеза, а это ведь и определяет в самом основном наличие и состав самостоятельного уровня построения. Ни в одном из этих высших автоматизмов не находится каких-либо новых черт характера или стиля координационного процесса, каких-либо новых особенностей вариативности, переключаемости, переноса, сбиваемости, словом, чего-либо из всех тех свойств и признаков, наличие которых необходимо для присуждения определенному двигательному контингенту степени «уровня».

Переходя от негативных аргументов к позитивным, мы убеждаемся далее в том, что каждый высший автоматизм обязательно носит явные и неоспоримые черты одного из уже известных нам уровней построения, начиная от уровня С и далее книзу. Все их координации при внимательном анализе изобличают в них то свойства пространственного поля (например, автоматизмы удара молотком у кузнеца, движений с напильником или ножовкой у слесаря), то свойства уровня синергии (например, движения вязальных спиц, смычка скрипача и т. д.), то даже свойства рубро-спинального уровня (хватка ручки инструмента или станка, катание пилюль и т. п.). Все критерии, по которым мы можем в настоящее время производить анализы уровнейой принадлежности, и на первом месте между ними, разумеется, критерий определяющего сенсорного синтеза, «поля», неизменно приводят во всех случаях к приписке этих двигательных компонент предметных действий в один из нижележащих, до-предметных уровней. У более сложных автоматизмов возможно найти целую иерархию реализующих их уровней с настоящими фоновыми структурами, так сказать, второго порядка.

Как общее правило, предметный уровень не находит подобных сноровок, или автоматизмов, в готовом виде в инвентаре нижележащих уровней и вынужден их специально вырабатывать для осваиваемых им действий. Характерным свойством автоматизмов этой категории является их *благоприобретенность*. Процесс их выработки имеет ряд особенностей, проливающих свет и на их центрально-нервную структуру. Осваиваемый впервые двигательный элемент цепного предметного действия строится первоначально целиком из единичных сознательных произвольных компонент, реализуемых чаще всего через пирамидную эффекторную систему. В этой стадии (у абсолютного новичка) вырабатываемый автоматизм очень напоминает собой остатки аналогичного автоматизма у премоторного апрактика; движение разрознено, беспомощно и пробивается вперед только на костылях активного, сознательного внимания, часто сопровождаясь широкими иррадиациями эффекторного возбуждения, бесполезными синкинезиями и т. д. Если эффекторные приборы уровня действий функционируют правильно, то постепенно кортикальные афферентации начинают сменяться афферентациями нижележащих уровней; мало-помалу увеличивают свой удельный вес экстрапирамидные слагающие; в движении образуются компоненты несознаваемые, непронизанные и все более адекватные. Активное внимание разгружается, разгружается и ведущий уровень, который вместо всех решительно деталей движения оставляет за собой лишь те, которые существенно нуждаются в его специфических афферентационных качествах. Движение *автоматизируется*.

Этот процесс прижизненной активной выработки автоматизмов указывает на то, что хотя сам по себе автоматизм не содержит в себе ничего, кроме компонент уровня пространственного поля и еще ниже лежащих уровней, и хотя в выработанном виде он и реализуется полностью на этих подчиненных уровнях, *но в самих этих уровнях и в их ведущих афферентациях нет и не может быть мотивов ни к формированию,*

ни к вызыванию («экфории») тех двигательных и координационных комбинаций, которые мы относим к классу высших автоматизмов. Все техническое, координационное управление ими осуществляется полностью на тех или иных низовых уровнях, но возникновение, выработка и отшлифовка этих комбинаций, а также пуск их в ход по мере необходимости возможны не иначе, как по мотивам и побуждениям, исходящим из уровня действий¹. Какие могли бы быть причины к тому, чтобы производить те или другие точные и налаженные движения иглой, рубанком, резцом, микротомом микроскопа, наконец, пером, пишущим эти строки, если бы эти движения оказались в какой-то момент самодовлеющими, законченными в себе не только в своем двигательном составе, но и в своей смысловой структуре и сути? Так, например, техника вколачивания гвоздя молотком есть типичное баллистическое целевое движение в уровне пространственного поля, еще и со своими вспомогательными фонами из уровня синергии (междусуставная координация, борьба с реактивными силами и пр.), и его основные черты — сила удара, меткость попадания — корректируются афферентацией пространственного поля. В то же время ведущий координационный контроль над этими движениями выполняется уровнем предметного действия, уже осмысливающим весь процесс в целом и решающим основную смысловую задачу: «чтобы гвоздь был вбит». Именно этот уровень определяет: УТ, нужно ли в очередной раз ударить сильно или слабо, прмж> или вкось, или постучать по согнутому гвоздю сбоку, или перестать ударять, когда гвоздь вошел на требовавшуюся глубину. Именно в этом уровне, и только в нем одном, содержатся мотивы к выработке навыка размашистого стучания молотком, имеющего смысл только применительно к указанной задаче.

¹ Мы используем этот удобный термин, введенный Сетон, что нисколько не обязывает следовать и его взглядам на вещи.

² Нечто подобное этому типу взаимоотношений мы видели выше на примере взаимоотношений стриального подуровня и уровня синергии в акте ходьбы.

По поводу описываемых высших автоматизмов и было сказано в начале этой главы, что контингенты движений уровня пространственного поля у человека много богаче, чем у каких бы то ни было животных: у этих последних нет мотивов к образованию подобных контингентов, хотя и есть налицо немало фактических двигательных, координационных возможностей к этому, что доказывается их дрессируемостью. Вспомним (чтобы не рваться слишком долго в цирковых программах) хотя бы эльберфельдских лошадей или речь попутаев. «Заяц, ежели его бить, спички может зажигать», как заметил один из героев чеховских рассказов. В том-то и дело, что человек зажигает спички по иным побудительным мотивам.

Анализ высших автоматизмов вскрывает нам физиологическую роль *премоторных систем*, разрушение которых приводит к общей *деавтоматизации действий* уровня Д к потере всякой возможности как экфории, так и нового формирования высших автоматизмов. Очевидно, в норме премоторные системы работают как своеобразные *посредники* (хотелось бы назвать их «экформаторами», если бы не уродливость пристегивания латинского суффикса к греческому корню), устанавливающие и поддерживающие связь между кортикальными конstellациями уровня действий, с одной стороны, и нижележащими уровнями построения — с другой. Это заключение хорошо подкрепляется фактом избытка и хорошо изученными направлениями проводящих путей от премоторных полей коры как к пирамидным полям и pallidum, так и к лобным долям полушарий, через которые устанавливается, таким образом, связь премоторных систем мощным лобно-мосто-мозжечковым трактом. Передача, осуществляемая премоторными системами, совершается не на нижележащие эффекторы, а именно на уровни как целостные образования с принадлежащими им и афферентационными, и центрально-замыкательными, и собственными эффекторными аппаратами. В чем именно состоят импульсы, посылаемые премоторными полями, пока еще совершенно невоз-

можно сказать, но несомненно, что эти поля так или иначе играют в системе уровня действий глубоко своеобразную роль эффектора особого рода. Выбытие их из строя разом лишает систему уровня действий выхода на эффекторную периферию по всем линиям, кроме тех немногочисленных и чрезвычайно абстрагированных собственных коррекций, о которых говорилось выше.

Теперь уместно вернуться к вопросу о вариативности двигательного состава действий, обратившись к нему с новой точки зрения. Если раньше, при анализе смысловой структуры действий, мы должны были констатировать очень далеко идущую вариативность и поэлементную взаимозаменяемость в их двигательном составе, в комбинировании между собой отдельных двигательных элементов цепи, так сказать, в составлении слов из элементов — букв, то теперь необходимо отметить наличие вариативности и в самих по себе элементах двигательного состава — в самих буквах. Не только число и последовательность стежков иглой или движений скальпелем у хирурга или поворотов сверла у механика меняются от операции к операции, но и сами по себе движения руки с иглой, скальпелем, косой, напильником, дрелю и т. п. никогда в точности не повторяют друг друга. И тут обнаруживается, что отдельные двигательные элементы (все равно, одновременные или сукцессивные) чрезвычайно резко разнятся между собой по степени их внутренней вариативности. Тут же рядом, один вслед за другим, могут встречаться два элемента цепи, два автоматизма, один из которых стоек, как черты лица, другой изменчив, как его выражение? Приглядываясь пристальнее к тем и другим, мы можем теперь легко установить и причину этой, так сказать, «вариативности вариативности». Каждый из этих фонов сложного цепного акта действия *вариативен в меру того фонового уровня, на котором он построен*. Таким именно образом автоматизмы, представляющие собой координационные комбинации на уровне синергии, вариативны в самой малой степени; реализуемые на уровне пространственного поля, обладают

той максимальной степенью переключаемое™ и «пластичности», которая постоянно присуща этому уровню, и т. д.

В гл. V было уже упомянуто о признаке «специфической вариативности», характеризующем разные уровни построения, — признаке, принимающем во внимание как количественные, так и главным образом качественные особенности наблюдаемых вариаций. Этот признак может быть с успехом применен не только для определения уровневой принадлежности самостоятельных движений, но и для оценки структуры и этапности фоновых «высших автоматизмов» уровня действий.

Вторая характерная черта вариативности двигательного состава действия связана с четко проступающим различием между *правой и левой рукой*, с наличием доминантной (ведущей) и субдоминантной стороны тела и т. д. Ни в движениях уровня пространственного поля, ни в моторике еще ниже лежащих уровней эта разница почти или вовсе не заметна. В уровне синергии прикованность движений и коррекций к осваивающим их конечностям настолько значительна, а вариативность и переключаемость настолько низки, что функциональные различия правой и левой руки трудно заметить: они полностью маскируются несмещаемостью стереотипов этого уровня. Но в уровне пространственного поля левая рука во всех случаях легко заменяет правую, и обычно различия в точности, меткости и беглости рук здесь ничтожны. Достаточно вспомнить, например, работу обеих рук при игре на фортепиано, арфе и т. п. Это обстоятельство стоит, конечно, в непосредственной связи с тем, что только с субстратов уровня действий (*D*) начинается неравноценность правой и левой стороны. Здесь определяется доминантное полушарие, как правило, то, в котором помещаются центры речи, и именно здесь вступает в силу заметное отставание одной стороны тела от другой и по ловкости движений, и по усвоению навыков (оказывая затем уже вторичным, отраженным путем известное влияние и на двигательный багаж нижележащих уровней). Бесспорно, не случайно и заслуживает внимания

мания, что ни в одной из геометрических конфигураций, доступных восприятию и графическому воспроизведению *на уровне пространственного поля*, не имеет места различие между левой и правой стороной, например, между лево- и правосторонними взаимно симметричными орнаментальными фигурами. Очень трудно запомнить и потом опознать на большом сводном листе ранее предъявлявшуюся на несколько секунд неравнобокую геометрическую фигуру, но чрезвычайно трудно запомнить при этом ее правую или левую ориентированность и не сделать ошибки при узнавании, если в свободной таблице имеются как правый, так и левый вариант. В то же время знаки, воспринимаемые *в уровне действий*, — буквы, цифры или условные шифровые значки, запоминаются и воспроизводятся с точным различием правых и левых вариантов, и, за исключением детей, наклонность которых к зеркальному писанию букв как раз объясняется недоразвитием у них уровня действий (см. гл. VII), каждый без колебания различает наделенные смыслом знаки *Ии N, ЯнЛ*, *з*я *s*, а и *5*, хигит. д.

Если теперь обратиться от нормы к патологии, к анализу тех клинических синдромов, называемых апраксиями или диспраксиями, изучение которых и помогло в самом основном установить существенные позитивные черты уровня действий, то после всего изложенного определение и систематизация этих синдромов не представят особых затруднений. Разумеется, мы коснемся здесь клинических картин не более, чем это необходимо для уяснения основных предметов изложения.

Опираясь на введенные выше понятия смысловой структуры и двигательного состава моторных актов, можно коротко и с достаточной точностью сказать, что болезненные или трагические *очаги в ниже-теменных отделах полушарий* (с особенной выразительностью — в ведущем, обычно левом полушарии) влекут за собой *нарушения в смысловой структуре* сложных двигательных актов или действий, а *очаги в прешоторных полях* — *нарушения в их двигательном составе*.

Нижне-теменные синдромы (среди них различают несколько нюансов, именуемых агностической, амнестической и идеаторной формами) можно объединить под общим названием *сензорных, или гностических, апраксий*, оттеняя этим их своеобразно афферентационный характер; по имени впервые детально изучившего их автора они заслуживают названия апраксии Льерманна. Во всех этих разновидностях поражается смысловая структура предметного действия. И по локальной, и по функциональной близости апраксии этой категории часто сопутствуют алтическими и слуховыми агнозиями, лексией, сенсорной афазией и т. п. Действия, избирательно страдающие при поражениях этого рода, чаще всего представляют собой сложные смысловые цепи, сукцессивные последования движений, объединяемых общностью смысла и цели разрешаемой двигательной задачи. В связи с этим нарушения смысловой структуры, характерные для апраксии Льерманна, обычно представляют собой смысловые искажения подобных цепей. При этом либо происходит полный распад общего плана движения, либо этот план остается целым в своих основных контурах, но при его реализации наступают разнообразные нарушения. Или из цепи выпадают отдельные звенья, что обесмысливает всю цепь, или, наоборот, в нее впутываются звенья, не относящиеся к делу, или имеют место нарушения смыслового порядка следования звеньев, самих по себе верных, или обрывы цепи до ее завершения, или, наконец, соскальзывание на смежные смысловые цепи, нередко даже не в силу их сбивающего сходства, а в порядке персеверации элементов цепи, предпринимавшейся перед этим. Естественно, что при синдроме Льерманна сложные смысловые цепи по большей части страдают сильнее, нарушаются раньше, чем более простые; элементарные предметные действия, как, например, одевание, самообслуживание, рассматриваются меньше. Движения больных при этих формах апраксии не дискоординированы и не аморфны; они только перепутаны и не адекватны смыслу действия. То, что здесь нарушаются именно основ-

ной проект движения, а не техника выполнения его деталей, лучше всего подтверждается тем, что подражание цепным действиям, выполняемым на глазах больного другим лицом, удается больному легче, чем спонтанное (само произвольное) выполнение, поскольку этим путем больной получает подсказ номенклатуры и последовательности двигательных звеньев цепи, а реализация каждого из них самого по себе у него не нарушена в силу интактности двигательного состава его действий. Нарушения смысловой структуры могут проявляться и в более тонких формах, вскрывая лежавшие в их основе либо расстройтва осмысляющего восприятия *пространства*, либо дефекты осмысления предмета как орудия или объекта манипуляций (рис. 76, не помещен. — *Прим. ред.*). Это уже переходная область к агнозиям, с которыми фактические картины (не оголенные схемы) апраксии Льерманна не имеют резко проложенной границы.

Тесная связь уровня действий с фоновыми уровнями и легкость, с какой эти последние вовлекаются в норму в подчиненное сотрудничество с ним, открывают возможность для еще одного классификационного подразделения сенсорных апраксий, намеченного А. Лурией. Это подразделение базируется на том, какими именно фонами оснащенные двигательные акты преимущественно и избирательно страдают при данной форме поражения, и подчеркивает, что в разных случаях (может быть, при разных локализационных нюансах, пока еще не известных) избирательно задеваются связи субстратов уровня действий с субстратами тех или иных различных низовых уровней. Нарушение связей с уровнем синергии дает то, что Лурия обозначает как «апраксию позы», разрыв с уровнем пространственного поля — «апраксию пространства», наконец, какие-то эссенциальные нарушения в самих субстратах уровня действий — апраксию в узком смысле слова, характеризующую преимущественно непорядками в символических или связанных с гнозисом отправлениях этого уровня. Эта классификация обещает многое, хотя и нуждается еще в дальнейшей разработке.

Вторая группа апрактических расстройств с локализацией очагов в *премоторных полях* также включает несколько разновидностей, которые можно объединить под общим названием *кинетических, или премоторных, апраксий*, или, в рендант к апраксиям Липмана, под именем апраксий Клейста¹. Эти синдромы представляют собой в противоположность предыдущим нарушения в протекании *двигательного состава действия* при сохранности всей основы его смысловой структуры. Как и у сенсорного апрактика, у премоторного больного нарушены механизмы реализации действия; и у него подорван мост, ведущий от (интактного) понимания задачи к ее разрешению, но подорван он в другом пролете. По характеристике Клейста, в противоположность сенсорной апраксий последовательность звеньев данного действия остается целой, но выполнение отдельных звеньев оказывается дефектным; наступает «огрубление и искажение двигательной формы, узнаваемой еще по ее общему контурам» (*Kleisti*). Как отмечает этот автор, нарушение проявляется далеко не с одинаковой силой для разных видов движений. В частности, сложные смысловые предметные действия здесь нарушаются меньше (при идеаторной апраксии они как раз страдают сильнее всего), так как общий контур, или проект, движения остается для больного ясным, а в замену расстроившихся частных координации он еще сохраняет возможность пойти обходным компенсационным путем, руководствуясь конечным смыслом и целью предпринятого акта.

Премоторный больной в состоянии правильно спроектировать действие в отношении его двигательного состава, в состоянии даже наметить и расписать по партиям ту картину движения, которая была образно упомянута выше, но он становится беспомощным в осуществлении его элементов. Уже поверхностное наблюдение отмечает, что движения его неловки, тугодумны, лишены непринужденной непосредственности. Он как бы скандирует их, читает свои дви-

¹ Сам Kleist обозначает выделенную им наиболее характерную форму премоторной апраксии трудно переводимым термином «*gliedkinetische Apraxie*».

жения по складам. Психологически пассивные элементы, чередующиеся во всяком движении с активными: опускание руки после выполнения поднятия, опускание кнопки после нажима на нее, расслабление после напряжения и т. п. — все это у него одинаково активно, требует особого акта внимания и особого изъяснения воли. По характеристике Лурии, поражается обобщенный, системный характер движения, при котором единичные двигательные элементы органически включаются в ткань двигательного состава действия. Нарушается и исчезает «динамический фон» движения — свойственные норме обобщения во времени последовательных активных и пассивных элементов. Из единого замкнутого акта, включающего в себя и активную, и пассивную часть, движение превращается в последовательный акт не слитных, сплошь активных перемещений, из плавного делается толчкообразным, саккадированным, похожим на гимнастические движения по команде. Единая «кинетическая мелодия» привычного движения, в норме текущая автоматически, превращается в серии единичных, деавтоматизированных актов. Схема заменяется суммой.

Нарушения в протекании двигательного состава действия сказываются с особенной яркостью в важнейшем из признаков премоторной апраксии, являющемся, может быть, наиболее точным ее определителем: в глубоком распаде двигательных навыков, т. е. в *деавтоматизации* смысловых или предметных цепей. Как отметил уже Н. Jackson, при апраксии этого типа выпадают не элементарные, подкорковые автоматизмы (т. е. не возникает деавтоматизации движений, ведущихся нижележащими уровнями построения. — *И. Б.*), а высшие кортикальные автоматизмы, т. е. механизмы осуществления сложного действия по единой динамической схеме.

Все, что у нормального субъекта в его обыденной предметной деятельности совершается автоматизированно, само собой, бессознательно и с привычной ловкостью: застегивание пуговицы, зажигание спички, расчесывание волос и т. п., при наличии премоторного очага резко деавтоматизируется, становится неуклюжим и неудачливым, как делае-

ное ребенком первый раз в жизни. Безвозвратно утрачиваются более тонкие профессиональные и художественные навыки, и в последующем даже самое упорное, настойчивое, длящееся целые месяцы упражнение не в состоянии восстановить и простейшего из них. Более глубокий анализ показывает, в каком именно звене разрываются связи у больного описываемого типа. Премоторный апрактик теряет возможность фактической реализации разверстки компонент движений по фоновым уровням, уже упоминавшейся раньше; в этом-то, несомненно, и заключается самый стержень постигшей его общей деавтоматизации (рис. 77 и 78).



Рис. 77. Задача на выполнение сукцессивной структуры.

«Сопреживание карандашом извилистых фигур, образцы которых помещены слева. Больной, страдающий менингитом, левой премоторной зоны; опыт на 4-й день после ее оперативного удаления. «Характерной особенностью рисунков является то, что они не являются ни «линиями», ни «фигурами». Они как единой динамической структурой. Так, фигура А превращается в сумму, а сумма в фигуру. Выходит, что больной пытался складывать графическую структуру; этот же разрозненный характер движений и невозможность овладеть кинетической мелочью особенно видны на фигурах В, изображении которой преобладают разрозненные штрихи». Епископов, А. В. «Психическое развитие и психическая деятельность в детском возрасте», 1945 г. (с. 106). «...Является достаточно резко» (*Дурная*). Уст. изв. каф. психологии МГУ! - 1945».

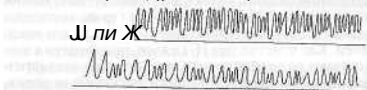


Рис. 75. Исполнение ритмичного текста субъектом, перенесшим осколочное ранение правой и отчасти левой премоторной области, парасагиттально, соответственно задней части верхней лобной извилины.

Верхняя кривая — правая рука спустя 5 мес. после ранения (вскоре после операции, обусловленной неадекватным шином). По признаанию самого больного, характерному для полной сохранности микрокритики у больных этого рода, «почему-то не получается, хотя это очень просто и понятно; быстро — труднее». *Нижняя кривая* — та же правая рука после длительной безуспешной тренировки (около 3 мес); правильная акцентировка получается только путем зрительного опосредования с помощью оптической схемы (11*) — (Инд-исполн) (с-ЭроссЕ. Нарушение ДВРКисл при поражении премоторной зоны. — Шинт-исполн) (АНМН, 1945).

Автоматизация есть с точки зрения излагаемой здесь концепции переключение тех или иных структурных компонент двигательного акта на нижележащие, в данный момент не осознаваемые уровни, что связано и с переключением этих компонент на другие афферентации. Отсюда следует, что *деавтоматизация* — это потеря возможности фонового использования того низового уровня, на которой были раньше переключены те или другие компоненты движения. Такая потеря может быть обусловлена либо *распадом самого низового уровня*, либо же *нарушением функциональной связи* между анатомическими субстратами ведущего уровня и того низового, о котором идет речь. Обе эти формы деавтоматизации могут быть наблюдаемы и по отношению к более низким уровням, нежели уровень действий.

Хороший пример первой формы деавтоматизации представляет собой разрушение скоростисы по паркинсоновикам. Перепричина испытанияемых ими выпадений — распад субстратов уровня синергии — приводит к утрате уже упомянувшейся несущей вибрационной синергии скоростисы; эту утерянную синергию им приходится возмещать на уровне пространственного поля, который у них не нарушен. И вот, очень любопытно наблюдать, как паркинсоник с сильным тремором рук, едва способный вывест-и дрожанием почерком свои имя и фамилию, тут же вслед за этим *рисует* совершенно твердой рукой заказанный ему кружок или крестик. Письмо, издавна усвоенное им со структурным, фоновым участием уровня синергии, деавтоматизировалось и распалось с его разрушением, а рисование кружка, никогда не бывшее автоматизированным подобным же образом, осталось совершенно незатронутым. Интересно, что и вообще у паркинсоновиков обычно пирамидные иннервации в гораздо большей степени гасят присущий им тремор конечностей, нежели исходящие в норме из экстрапирамидной системы.

Вторая разновидность деавтоматизации была уже упомянута выше примерно к тому же паркинсонизму: подразумевается тот встречающийся при этом заболевании синдром,

при котором теряется возможность спонтанной ходьбы по неразмеченной поверхности. Выше (см. гл. V) было указано, что в этом синдроме мы имеем дело с формой деавтоматизации ходьбы, зависящей уже не от распада уровня синергии, а от нарушения тех механизмов *перешифровки*, которые выполняют в норме перевод с аperiодического языка уровня пространственного поля на периодический, или циклический, язык уровня синергии. Именно к этому-то второму типу — нарушению механизмов связи, или перешифровки — следует отнести и те деавтоматизации, которые характерны для премоторной апраксии Клейста.

Действительно, при этом синдроме не выпадают никакие движения из нижележащих уровней, не выпадает, в частности, и возможность произвольных движений; следовательно, ни один эффекторный прибор не оказывается при нем выключенным или пораженным. А между тем нарушение движений, свойственное этой форме апраксии, имеет ясно выраженный эффекторный, а не афферентационный характер. Очевидно, эффекторный характер двигательного нарушения при целости как всех анатомических эффекторных звеньев, так и всех опирающихся на них низовых уровней построения может выразиться только в *деавтоматизации*, обусловленной не нарушением в самих по себе низовых уровнях, а *потерей возможности управления ими со стороны уровня действий*. При этом теряется только возможность их фонового, автоматизационного использования, в то время как для афферентаций нижележащих уровней эти же эффекторы продолжают оставаться вполне управляемыми. Характеристика наступающих при апраксии Клейста деавтоматизаций может быть еще несколько уточнена указанием, что наиболее резко нарушается при ней автоматизационная связь с уровнем синергии, менее резко — связь с подуровнем striatum (C7) и в наименьшей степени — связь с пирамидным подуровнем пространственного поля (C2). Это следует как из того, что, по мере перехода от наиболее легких форм премоторных поражений к наиболее тяжелым, деавтоматизации

и являются именно в указанном порядке¹, так и из наблюдений над самим характером и уровневой структурой утрачиваемых автоматизмов.

Как теперь легко представить себе, премоторный больной может сохранять в потенции все возможности проектировки двигательного состава действия (поэтому он, в отличие от идеаторного апрактика, не путается в порядке и группировании звеньев цепи), но только средства реализовать запроктированную фоновую разверстку у него парализованы. Во-первых, это лишает больного *всех низовых перешифровок*, обеспечивающих в норме и метрику движений, и их ритмизацию, и смену иннервации и денерваций и т. п.², отсюда напряженная скандированность его движений, чтение их по складам, как мы выразили это выше. Во-вторых, это лишает больного существеннейшего свойства автоматизмов — их бессознательной регулируемости — и ведет к тому, что каждая мелочь в движении требует от него и направленного внимания, и отдельного акта воли. В-третьих же, наконец, это губит все приобретенные им в предшествующей жизни умения и навыки; по-видимому, гибнут-то здесь даже не сами эти координационные формы, а только их доступность для эйфории; утрачивается и всякая возможность выработки новых. Производит очень тяжелое впечатление, когда интеллектуально полноценный человек после двух-трех месяцев добросовестной ежедневной тренировки не в состоянии освоить даже навыка простого ритмического постукивания

Первыми деавтоматизируются ловкие движения, искусные манипуляции и т. д., т. е. теряется ³ «Шокольность использования фонового синергии; далее — «динамические адеи»⁴ тные схемы», т. е. движение нипулирования с пространством (C1); наконец, в последнюю очередь — вообще произвольные движения (пирамидный подуровень (C2), так называемая моторная апраксия).

В числе таких низовых, в норме бессознательных перешифровок премоторные больные часто утрачивают так называемую *антеципацию* (см. гл. VIII), т. е. способность предвещать, ⁵ *предматрирование* своих движений. Премоторный больной, на середине пути которого поставлен ступень, не подает ⁶ *самостоятельного сигнала*, чтобы миновать его, а двинется прямо к конечной цели и, ⁷ *плотную* подойдя к стулу, крутым поворотом обойдет его ⁸ (наблюдение А. Лурия).

пальцем, вроде «спондея-анапеста», и т. д. Об этом не стоило бы, может быть, упоминать здесь, если бы факт сохранности всех низовых уровней у такого больного не давал больших шансов за фактическую сохранность у него и всех навыков; портфель со всеми бумагами цел, потерян только ключик от него. Это уже дает некоторую лечебную перспективу; может быть, не в далеком будущем и удастся если и не найти ключик, так сделать новый.

В обширном кругу двигательных актов, совершаемых нормальным человеком на уровне действий (*D*), очень нелегко найти убедительные принципы для классификации. Разнообразие как смысловых структур, так и двигательных составов, как точек приложения по существу, так и видов внешнего кинетического оформления столь значительно, что не позволяет уже свести акты этого уровня в таблицу, подобную той, какой было выше закончено описание уровня пространственного поля. Наиболее удобный путь для внесения некоторой системы в открывшееся Б уровне действий исключительно многообразие обнаруживается благодаря характеристической особенности уровня *D*: богатству очень разнородных и подчас сложных *фоновых структур*, которым и было уделено много места в обрисовке как нормы, так и патологии этого уровня. Не претендуя ни на полноту, ни на выверенную точность, закончим этот раздел изложения эскизом описи видов действий, подразделенных по указанному ведущему признаку. В каждой группе будут даны (лишь очень немногие, взятые совершенно наудачу) примеры соответственных действий из областей: а) производственных, б) бытовых и в) спортивно-игровых процессов.

*Группа I. Двигательные акты со сравнительно малым участием технических фонов (высших автоматизмов)*¹. Сюда войдут предметные ориентировочные движения: ощупывания, разглядывания, примеривания, сравнивания, выбирания и т. п. Сюда же следует отнести всевозможные предметные

Едва ли требуется специальная оговорка об обязательном наличии фонов из уровня *A* во всех действиях, ведущихся на уровне *D*.

действия новичка и обходные (компенсационные) действия премоторных апрактиков. Далее, в эту же группу войдут многие цели из тех, которые можно бы по аналогии с соответственной группой из уровня *C* назвать топологическим манипулированием с пространством: изображение на бумаге заданной фигуры или знака; схематическое рисование, имеющее место у всех не умеющих рисовать; устанавливание предмета, переворачивание, насыпание, наливание, открытие задвижек, коробок и т. п. Сюда же, видимо, надо включить элементарные движения (например, постукивания) в сложных ритмах. Именно в этой «общечеловеческой» группе предметных действий, не включающей в себя специальных навыков, естественно, легче всего находится материал для разовых диагностических проб на больных.

Группа II. Акты с преобладанием фонового участия *верхнего подуровня пространственного поля C2*. К ним относятся действия, технические фоны и навыки которых тесно связаны с точностью, метричностью движений, значимостью оптического контроля: черчение, гравирование, сборка механизмов, манипуляции с точными приборами (счетной линейкой, микрометром, рейтером точных весов и т. п.), операция токаря, хирурга, оптика, резчика, аптекарского лаборанта, часовщика и т. д. Из области бытовых движений в эту группу войдут: вдевание нитки в иглу, накапывание лекарства, заточка карандаша. Спортивных движений, характерных для этой группы, подыскать не удастся; из игровых манипуляций к ней подходят действия с головоломками типа шариков в застекленной коробочке, которые нужно раскатать по местам, карточные домики, малоустойчивые фигурки, которые требуется установить в равновесии, игра в бирюльки и т. п.

Группа III. Акты с преобладанием фонового участия *нижнего подуровня пространственного поля C1*. Из производственных действий: движения сцепщика поездов, шофера, паровозного машиниста, опиловщика, шлифовальщика, кузнеца, обойщика мебели, прачки и т. п. Из бытовых операций: глажение утюгом, причесывание, бритье, шнуровка

обуви, раскатывание теста, перелистывание книги, включение электроприборов, закуривание и т. п. Из гимнастических и игровых движений: влезание по веревке на веревочную лестницу или на дерево, балансирование предметами в положениях неустойчивого равновесия, игра «диаболо» и т. д. Все эти акты в той или иной степени содержат вторичные фоны («вторым планом») из уровня синергии.

Группа IV. Акты с преобладающим фоновым участием уровня синергии *B*. Из производственных операций: работа косца, молотобойца, сноповязальщика, землекопа, пряж; работа, связанная с кручением рукоятей (лебедка, колодезь, ручная типографская машина и т. д.); многие конвейерные операции. Из бытовых действий: вязание на спицах, завязывание узлов, мотание ниток, намыливание и мытье тела, заглетье косы, надевание одежды. Спортивные и игровые движения: французская борьба, дзю-до; в некоторой мере — прыжок с шестом; игры с бечевочным кольцом, из которого образуются различные узоры путем поочередного перенимания его с пальцев партнера. Далее — наука развертывается вне плоскости бытовой морали — сюда же следует отнести шулерские приемы, аналогичные им фокусы «ловкости рук» и многие воровские приемы, в которых, как известно, координация иногда (к сожалению) достигает очень высокого совершенства.

Группа V. Акты с необходимым фоновым участием как уровня пространственного поля, так и уровня синергии. Из рабочих и производственных действий — прежде всего письмо и речедвигательный процесс¹. Далее, операция рабочего при прокатных станах, матроса на парусных судах и другие подобные действия, присутствие так называемым опасным профессиям; операции мастера на швейной машине, закройщика кожи и тканей, наборщика, типографская накладка и фальцовка, наконец, многие из высококоррализованных рабочих навыков, применяемых мастерами стахановского труда. Из бытовых процессов: шитье, вышивание,

¹ См. об этом ниже в гл. VII и VIII.

чистка плодов и овощей, выпиливание и т. д. Из спортивно-игровых движений: фехтование, штыковой бой, стрельба из лука, метание сложных охотничьих приспособлений: гарпуна, бумеранга, лассо и т. п.; многие из действий горного и горнолыжного спорта, джигитовка и т. п.; гребля, «ассистирование» в партнерной акробатике и балете.

Группа VI. Акты с преобладанием фонового участия рубро-спинального уровня *A*: катание пилуль, некоторые из движений массажа; vibrato левой руки скрипача; обмахивание веером; ряд производственных фиксаций и хваток.

Уровни, лежащие выше уровня действий (группа E)

Общие характеристики существенных черт движений и действий уровня *D*, данные в настоящей главе, ясно показывают, что еще не все высшие интеллектуальные двигательные акты могут найти себе место в этом уровне. В координационный уровень действий не попадают, например, символические или условные смысловые действия, к которым в первую очередь относятся не технически-исполнительные, а ведущие в смысловом отношении координации речи и письма; двигательные цепи, объединяемые не предметом, а мнестической схемой, отвлеченным заданием или замыслом и т. д., например, художественное исполнение, музыкальное или хореографическое; движения, изображающие предметное действие при отсутствии реального объекта этого действия; предметные действия, для которых предмет является уже не непосредственным объектом, а вспомогательным средством для воспроизведения в нем или с его помощью абстрагированных, непредметных соотношений. Существование подобных движений и действий убедительно свидетельствует о наличии в инвентаре человеческих координаций одного или нескольких уровней, иерархически более высоких, нежели уровень *D*.

Необходимо оговориться, что наличие у человека мотивов и психологических условий для действий, значительно возвышающихся над конкретным, элементарным обраще-

нием с предметами, не подлежит никакому сомнению. Трудность заключается только в том, чтобы выяснить, сказываются ли, и если да, то в какой мере, эти отличия мотивировки и психологической обусловленности действий и на *внешнем, координационном оформлении* и корригировании движений, о чем здесь только и идет речь. Когда животное бежит один раз потому, что ему необходимо быстро перекрыть известное расстояние (подуровень C7), а другой раз бежит, нацелившись на то, чтобы с разбега схватить подвешенный плод или намеченную жертву (фон C1 к основному акту в C2), то разница в построении и сенсорных коррекций, и самого результирующего движения в обоих случаях не вызывает сомнений. Но когда человек наносит другому удар кинжалом в порядке элементарной самозащиты или грабительского нападения (уровень D), то у нас не может быть достаточных оснований ожидать существенно иного координационного оформления, если субъектом подобного же акта будет Дамон, Занд или Шарлотта Кордэ. Необходимо обратиться прежде всего к анализу *движительного состава* подобных действий, за которыми подозреваются высшие координационные уровни.

Анализ некоторых особенно сложных и интеллектуализированных актов поведения, например письма или речи, устанавливает в них наличие большого числа иерархически наслоенных этажей, или, что сводится к тому же самому, наличие иерархически наслоенных одна на другую координационных перешифровок в большем количестве, нежели число насчитываемых нами уровней до предметного включительно. В акте письма, например, мы имеем налицо уровень синергии, задающий основную колебательную синергию скорописи; уровень пространственного поля С, обеспечивающий адаптацию движения пера к поверхности бумаги и соблюдение геометрических особенностей почерка при допущении пластической вариативности величины букв, положение листа, позы пишущего и т. д.; наконец, уровень действий D, определяющий топологические особенности почерка, верховно управляющий высшим автоматизмом скоропи-

си и осуществляющий правильные алфавитные начертания букв (то, что мы выше назвали модулированием скорописной колебательной синергии уровня В). Легко убедиться, что над всеми этими уровнями или перешифровками остаются еще по меньшей мере две координационных перешифровки, не нашедшие себе места в уровнях построения, рассмотренных до этого момента. Во-первых, идя снизу вверх, это будет иерешифровка фонетическая и грамматическая (один или даже два отдельных, подчиненных один другому процесса), т. е. перевод *фонетического образа речевого звука* на язык азбучного начертания, и перевод *фонетического образа слова* на язык грамматически верного буквенного подбора (spelling): «счетчик», когда звучит «шоччик», «Worcester», когда звучит «Uuste», и т. п. Во-вторых, это будет перешифровка смысловая, т. е. превращение зерна мысли или фразы на знакомом, но не родном языке или высказывания, помнящегося лишь по его общему смыслу, и т. д., в звуковой и, далее, графический образ слов, которые мы намерены написать. Еще более отчетлив пример написания чисел, где над фонетической перешифровкой («три» — «3», «двести» — «200») стоит еще смысловая или арифмо-грамматическая перешифровка («триста семь» — 307, а не 300—7; «einundzwanzig» — 21, а не 1—20; «quatre-vingt dix-huit» — 98, а не 4—20—10—8 и т. д.). Под каждой из таких иерархических перешифровок угадывается свой особый уровень построения. Наконец, и патологические признаки, в особенности признак персеверации (см. гл. IX), тоже в целом ряде случаев указывает на отдельные уровни, лежащие выше D каждый из которых просвечивает в патологических случаях своей особой, иначе построенной персеверацией. Нижеследующий пример из области уже проанализированных нами уровней может пояснить сказанное. Пациент, персеверировавший в уровнях В или C1, исполняя задание нарисовать кружок, не может остановиться после первого обведения контура и рисует или нескончаемый клубок на одном месте, или штопорвидную спираль (см. рис. 96). Если же персеверация обусловлена поражением в уровне действий, то подобное же за-

дание вызывает появление целой вереницы отдельных кружков, каждый из которых ничем не патологичен сам по себе, но которые в совокупности могут заполнить собой целый лист. Разные уровни из числа уже знакомых нам дали на одно и то же задание совершенно различные персеверации.

Аналогичным образом при поражении в предметном уровне *D* пациент, способный написать по заданию, например, цифру 8, но склонный к персеверации, может воспроизвести заданную цифру в виде целого клубка восьмерок по одному месту (персеверация в высших автоматизмах уровня действий) или в виде бесконечной серии восьмерок: 8 8 8 8... (персеверация в смысловой схеме самого уровня *D*). Этот же больной на задание написать «сто двадцать» пишет 12222..., т. е. уже на втором звене верно начатого действия впадает в персеверацию последнего из указанных типов, но другой пациент на то же самое отвечает такой персеверацией: 120 120 120... Несомненно, что переход в предыдущей паре наблюдений от штопоровидной персеверации кружка к нескончаемой серии безупречных кружков вполне аналогичен описанному сейчас переходу от 122222... к 120 120 120, и если там этот переход был связан с повышением персеверации на один уровневый этаж, то у нас есть все основания ожидать и здесь подобного же соотношения. Наличие более сложный и высокий тип персеверации, ясно говорящий за то, что здесь затронута перешифровка, стоящая выше уровня *D*. То же, по-видимому, справедливо и по отношению к больному, который задание написать 120 исполняет так: «10020», т. е. уже без персеверационных явлений обнаруживает разрушение в той области, где должна в норме совершаться арифмо-грамматическая перешифровка, и этим подтверждает действительное существование такой области.

В ответ на предложение нарисовать дом больной¹, персеверирующий в уровне *D*, изображает либо общепринятую схему домика много раз по одному месту, либо целую улицу схематических домиков. Но к какому уровню отнести персе-

¹ Ряд приводимых здесь примеров больных автор заимствует из наблюдений А. Лурии, которому приносит живейшую благодарность.

ирацию больного, который исполняет это задание, рисуя сперва крышу в виде буквы *D*, а под ней — запутанный клубок линий, ясно обнаруживающий, однако, что за *D*-образной крышей последовали сначала круговые, *O*-образные, а под конец — ломаные, *M*-образные линии? Это уже не схема дома в уровне *D*, а какая-то сложная смесь схематического рисунка, идеографического иероглифа и письменного обозначения «*ДОМ*», свидетельствующая о нарушении по меньшей мере в еще одном возвышающемся над *D* уровне, в котором смыкаются между собой предметные схемы и речевые, письменные начертания. Ведь несомненно, что и исторически иероглифы египтян и китайцев возникли не в результате чисто интеллектуально истинчески продуманной условной символики, а в порядке слитного, синкретического мышления более примитивного типа, которое в ту пору могло проявиться и в соответственных синтетических графических координатных в норме, а в наше время всплывает тут и там в патологических случаях, как и еще многие другие формы примитивного мышления, а может быть, и моторики.

Все эти факты — и существование целостных двигательных актов, не укладывающихся в рамки уровня *D*, и многоярусные перешифровки, замечаемые в норме, и многоэтажные выпадения, или персеверации, наблюдающиеся в патологии, — говорят в пользу существования по меньшей мере еще одного уровня, доминирующего над уровнем действий *D*, а вероятно, еще нескольких подобных уровней. Однако недостаточность материала в этом направлении пока еще настолько ощутима, что единственно правильный выход для настоящего момента — объединить провизорно все возможные здесь высшие уровни в одну группу *E*, поскольку даже при этом условии их удастся охарактеризовать только в самых суммарных чертах. Для этой уровневой группы сейчас невозможно, как кажется, конкретизировать ни ее ведущих афферентаций, ни кортикальной локализации (кроме только явно существующих для ее эффекторики лобных долей полушарий, в частности, полей 9 и 10 Brodmann).

Прежде всего нужно обосновать утверждение, что в группе *E* мы имеем дело действительно с координационными уровнями, а не только с чисто психологическими надстройками, т. е. что двигательные акты, относящиеся к этой группе, не являются суммами движений, полностью управляемых и координируемых более низовыми уровнями и только сцепляемых между собой психологическими мотивами нового рода, а представляют собой настоящие целостные координации с особыми качествами. При всей недостаточности экспериментального материала и связанной с этим очень большой трудности найти достаточно веские обоснования для этого положения можно все-таки и сейчас высказать ряд аргументов в его пользу.

Первый аргумент вытекает из того понимания структуры актов уровня действий и функций премоторной системы, которые явились результатом приведенного выше анализа этого уровня. Этот анализ доказал возможность координационного управления двигательными процессами «сверху вниз», позволив установить, что высшие автоматизмы, встреченные нами там, не являются ни в какой мере суммами движений уровней *B* и *C*, а представляют собой совершенно особые координационные комбинации, управляемые по специфическим директивам предметного уровня, через его собственный эффекторный выход — премоторные поля. Эти автоматизированные компоненты и фоны предметного уровня, эти «высшие автоматизмы» текут в силу своей автоматизированности ниже порога сознания, всегда пребывающего в ведущем в данный момент уровне. Совершенно естественно заключить, что если мы встретимся с целостным предметным действием или цепью таких действий, текущими автоматизированно и бессознательно и приводящими при этом к смысловому результату, возвышающемуся над возможностями самого предметного уровня, то перед нами будет проявление аналогичного координационного процесса, локализованного на одну уровневую ступень выше процессов уровня действий. Такие факты действительно су-

ществуют. К ним прежде всего следует причислить движения *речи и письма*.

Как уже было указано в предыдущем разделе, речедвигательный процесс представляет собой координацию, текущую на уровне действий, с техническими фонами во всех ниже лежащих уровнях. Это доказывается и близким клиническим сродством между моторными афазиями и апраксиями премоторной группы, и близостью, локальной и иннервационной, между премоторными полями коры и речедвигательным полем *Вгоса*, и схемно-топологическим характером построения речедвигательных отправлений, и наличием в них черт, совершенно аналогичных почерку, — произношения или акцента, т. е. качественной манеры, не нарушающейся при изменениях метрической стороны речи (громкости, быстроты, высоты тона голоса); доказывается, наконец, ясно выраженной монополярной смысловой связью их с предметом на некоторых ранних стадиях онтогенетического развития речи. *Называние* предмета, так же как и *написание* буквы или *списывание* слова, строится в уровне предметного действия *D*. Когда же мы встречаемся с этими полностью принадлежащими предметному уровню координациями в служебной, подчиненной, роли в бессознательном или автоматическом протекании и в таких цепных синтетах, которые в целом не могут быть мотивированными предметным уровнем, т. е. встречаемся со *смысловой связной речью или таким оке письмом*, мы имеем очень много оснований признать управляющие ими механизмы за особый координационный уровень в точном смысле этого слова. Аналогия речедвигательного процесса с высшими автоматизмами действительно очень велика, и хотя подробное ее прослеживание выходит из рамок этой книги, но одну существенную ее черту необходимо указать.

Выше было установлено, что движения, из которых построены автоматизмы уровня действий, несмотря на то, что координируются всегда в уровнях ниже его, тем не менее представляют собой такие двигательные формы и комбина-

ции, которые не могли бы возникнуть в своих уровнях сами по себе, без директивного управления свыше, за полным отсутствием в этих уровнях мотивов к формированию подобных двигательных отправлений. Точно так же, если в предметном уровне находятся достаточные методы к возникновению *речевого названия* воспринимаемого конкретного предмета, то как для появления более высокоорганизованных *семантических* (словесных) *форм* (глаголы, числительные, союзы и т. д.), так и для появления высших *грамматических форм* (склонение, спряжение, синтаксическое построение речи) в предметном уровне мотивов нет и не может быть. Таким образом, управление речью с того момента, как оно переходит от уровня *D* к более высокой уровневой группе *E*, отнюдь не сводится к сцеплению или нанизыванию уже имеющих (фактически или потенциально) в предметном уровне речевых форм, а создает на этом последнем уровне новые формы — и сематические, и грамматические, столь же речедвигательные, как и наименования конкретно воспринимаемых предметов, столь же полно координационно связанные с уровнем *D* но генетически совершенно чуждые ему¹.

К. подобным же случаям возникновения особых координации уровня действий, бессознательно протекающих под контролем более высокого уровня, следует отнести некоторые формы координации музыкального исполнения. Сюда нужно прежде всего причислить *координации смычка*. Выше, при разборе движений уровня пространственного поля (см. гл. V), было указано, что этот уровень практически не-

¹ Одна интересная подробность характеризует отличие этих «сверхвысших» автоматизмов, процирующих из *Ев D* от обыкновенных, являющихся проекциями из *D* в *C* и ниже. Выработка предметного автоматизма, т. е. автоматизация передачи координации из предметного уровня в уровень пространственного поля или в уровень синергии, сопровождается по разъясненным уже причинам *превращением топологического действия в метрическое*. Действительно, автоматизмы предметного уровня всегда метричны, как известно всякому наблюдавшему их. Наоборот, автоматизмы, которые мы назвали «сверхвысшими» (из *Ев D*), как речь, письмо, движения смычковой руки скрипача, могут при любой степени автоматизации сохранить *топологический характер*.

как не участвует в построении движений смычковой руки. Зато уровень действий непосредственно связан с манипулированием этим своеобразным орудием, манипулированием, никак не сводимым ни к одной только хватке, ни к перемещению вещей в пространстве. Если, несмотря на это, движения со смычком не были рассмотрены среди актов уровня действий, то именно потому, что эти движения *ведутся* не им, а выше его лежащей группой *E*. Мотивы к тому, чтобы именно вот так водить волоса смычка по жилам, натянутым на грифе, не могут возникнуть на уровне смысловых предметных действий уже потому, что такое вождение лишено какого бы то ни было прямого смысла, связанного с вещью. Еще существеннее и самым тесным образом смыкается с нашим основным определением координации то, что уровень *D* не имеет в своем распоряжении *средств для адекватной сенсорной коррекции* подобного движения: ни художественно ценный звук, ни тем более выразительная динамика звукового последования, определяемая целостной художественной концепцией исполнителя, не содержится в афферентационном синтезе предметного уровня, а между тем именно они и определяют собой управление всей совокупностью координационных коррекций скрипача или виолончелиста.

Итак, общая схема построения координаций смычковой руки скрипача следующая:

E — ведущий уровень, создающий мотив для двигательного акта и осуществляющий его основную смысловую коррекцию — приведение звукового результата в соответствие с намерением;

D — манипулирование с предметом — «сверхвысший» автоматизированный навык;

C — не участвует;

B — основные синергии (вторичные фоны), реализующие «сверхвысший» автоматизм уровня *D*;

A — специфическая хватка.

Неверно было бы думать, что для подобных схем построения под ведущим контролем высшей уровневой группы *E*

фоновое участие уровня О является неперменным условием. Для них существенно именно ведущее положение, занимаемое группой Е, а отнюдь не тот или иной фоновый состав. Например, движения руки пианиста строятся по следующей примерной схеме:

Е — ведущий уровень (см. сказанное о нем выше);

Д — видимо, не участвует;

С — пространственные целевые, силовые и меткие движения в пространственном поле;

В — фоновые синергии: а) туше, связанного с позой тела и постановкой рук; б) фоновых компонент для уровня С.

Таким образом, во-первых, существование автоматизмов, управляемых и мотивационно, и коррекционно из уровней, расположенных выше предметного и даже не всегда нуждающихся в его посредничестве, явно свидетельствует о том, что эти верховные уровни не только создают особые чисто психологические надстройки для мотивации движений, но и имеют на эти последние несомненное прямо координационное влияние. Во-вторых, как было отмечено вначале, с этими верховными уровнями связаны *перешифровки и патологические perseverации*, не уместяющиеся в более низких уровнях построения. Это также убедительно говорит в пользу того, что перед нами настоящие уровни построения, имеющие свои особые координационные механизмы. Наконец, в-третьих, эта верховная группа Е имеет и свои качественно особые *выпадения*. Выпадения этой группы Е приходится (в очень близкой аналогии с уровнем действий Д) разбить на два класса. К первому из них нужно отнести группу клинических расстройств, в свое время объединенных Мопакow под названием асемических: сенсорные афазии, алексию, асимболию, амузию и т. д., т. е. соответственно утраты смысловой речи, чтения, запаса слов, способности к музыкальному восприятию и т. д. Все эти виды выпадений объединяются одним общим признаком: потерей в той или иной области смысловых (уже не предметных) мотивов, и таким образом приближаются по характеру к выпадениям в аффе-

рентационном поле по типу апраксий Липмана. Второй класс выпадений в уровневой группе Е дает характерный «лобный синдром» с определяющей его разрозненностью поведения, утерей связи между сделанным и тем, что предстоит сделать, распадом соответствия между ситуацией и действием и т. д., т. е. синдром с эффекторным обликом выпадения. И те и другие выпадения вызываются поражением головного мозга в отделах, отличающихся по своей локализации от поражений, дающих апрактические расстройства, и создают двигательные нарушения других типов по сравнению с апраксиями.

Таковы доводы, которые могут быть приведены в настоящее время в пользу самостоятельного существования системы. Как особой координационной группы.

Мы не решимся предпринимать какой-либо классификационной попытки двигательных актов в охарактеризованной верховной уровневой группе. Помимо всего, здесь слишком велик риск впасть в ошибку, относя к числу актов, *координируемых* этой уровневой группой, и движения, только мотивируемые ею, но почти наверное строящиеся координационно полностью на нижележащих уровнях с Д включительно. С полной уверенностью можно отнести к координациям верховной группы: 1) *все разновидности речи и письменности* (устная речь, пальцевая речь глухонемых, морзирование, сигнализация флажками и т. п.; письмо от руки, машинопись, стенография, работа на буквопечатяющем телеграфе и наборных машинах и т. п.) и 2) *музыкальное, театральное и хореографическое исполнение* — *non multa, sed multum*.

Часть третья Развитие и распад

Глава седьмая

Возникновение и развитие уровней построения

Предшествующие главы показали, какое существенное значение для понимания механизмов координации и структуры уровней построения имеет история их развития, как родовая, так и индивидуальная. Вопросы онтогенеза моториума и моторики освещены в литературе меньше, нежели неоднократно рассматривавшиеся проблемы их филогенеза и морфогенеза двигательных аппаратов (*R. du Bois-Reymond, Spatz, Veraguth, Rose, Edinger, M. O. Гуревин* и др.), поэтому мы несколько подробнее остановимся на первых.

Необходимо с самого начала резко ограничить приложимость к обсуждаемым проблемам «биогенетического закона» *Haesckel*. В области моторики между родовой и индивидуальной историей развития имеется целый ряд как принципиальных, так и фактических расхождений. Во-первых, двигательный аппарат древнего низкоразвитого позвоночного полностью отвечал тем несложным моторным задачам, которые предъявлялись ему жизнью; моториум же человеческого младенца, а тем более эмбриона, вообще почти никаких двигательных задач разрешать не может. Во-вторых, является правилом, что в онтогенезе функциональная готовность постепенно, одних за другими, созревающих нервных приборов наступает значительно позднее, чем их же анатомическая зрелость и завершение морфологического развития. На каждой очередной ступени онтогенеза решение задач, представляющих собой для этой ситуации двигательный «потолок» особи, совершается при наличии и несомненном

соучастии вполне созревших вышестоящих и более молодых по филогенезу образований, которых у низших позвоночных нет и следа (*Spatz, Minkowski*). У ребенка, ползающего по полу, на втором году жизни пирамидная система анатомически уже вполне оформлена и налагает свой стилизующий отпечаток на стриопаллидарный, т. е. экстрапирамидный в своей основе, акт ползания, в то время как у пресмыкающихся, совершенно лишенных пирамидной коры, этот же акт выполняется striatum вполне автономно, с неминуемо протекающими отсюда форономическими отличиями от ползания ребенка.

В-третьих, резкие отличия между фило- и онтогенезом двигательных отправлений обуславливаются неуклонным процессом эволюционной энцефализации. Не только вновь образовавшийся в порядке «обрастания» нервной системы центр *A* перенимает функции, ранее локализовавшиеся в древнем ядре *B*, отныне становящемся подчиненной системой, но и многочисленные функции, осуществлявшиеся до этого времени еще более старыми и низовыми системами *C*, *Di* и т. д., теперь мигрируют в «освободившееся» ядро *B*. Этим путем древнейшие центры, как, например, спинной мозг, все больше и больше утрачивают и в степени своей самостоятельности, и в инвентаре выполнявшихся ими движений. Спинной мозг, способный у амфибий викарно вести после дещеребрации такой сложный акт, как локомоция, или *paßdum*, способный к такому же викариату у рептилий и птиц, у человека уже фактически не пригодны ни для подобного замещения, ни вообще для чего-либо, кроме фонового обслуживания высших движений элементарными автоматизмами. Итак, и спинной мозг, и *pallidum* рыбы или амфибий функционально очень мало похожи на их гомологи у примата и человека как взрослого, так и в грудном возрасте; поэтому с самого начала трудно ожидать здесь каких-либо близких соответствий между ходом развития моторики в фило- и онтогенезе, и это несмотря на довольно точное в общем воспроизведение в онтогенезе процесса постепенного эволюцион-

ного обрастания центральной нервной системы, выражающееся в постепенной же миэлинизации мозговых систем в утробном и раннем постнатальном периоде.

Отвечая усложняющимся координационным задачам и попутно обретая возможность более высокопробного исполнения древних движений, центральная нервная система позвоночных проходит в своей эволюционной истории несколько последовательных этапов, не так уж резко разграниченных между собой, как это принято изображать ради схематизации, но несомненно представляющих своего рода качественные скачки вперед.

Необходимо напомнить, что каждая более новая координационная система, обогащающая животный вид целым списком новых движений и обозначаемая нами как очередной *уровень построения движений*, вносит в обиход центральной нервной системы животного прежде всего новый класс *сензорных коррекций*, т. е. если и не новое по воспринимаемому материалу качество чувствительности, то обязательно новые способы восприятия этого материала, его оценки, осмысления и синтезирования с донесениями других органов чувств, и вытекающее из этого измененное на новый лад реактивное отношение к внешнему миру. Анатомические субстраты координационных уровней, последовательно формирующихся в филогенезе, обязательно включают как моторные, так и сенсорные центры, взаимосвязь которых в пределах данного уровня бывает особенно тесной. Так, параллельно с эффекторными центрами уровня палеокинетических регуляций, которыми у низших позвоночных служат ганглиозные элементы спинного мозга, а у млекопитающих в результате энцефализационного перемещения сравнительно молодые по филогенезу образования группы красного ядра, развиваются древние сенсорные центры покрышки и hypothalami. Развитие уровня синергии, эффекторно обслуживаемого pallidum, идет в ногу с формированием основных массивов главного сенсорного средоточия головного мозга — зрительного бугра. Пирам и дно-стриальному уровню пространственного поля, уже наполовину кортикальному, соответствует

возникновение «транзитных» ядер metathalami — наружных и внутренних коленчатых тел, узла ganglion habenulae и обширных первично сенсорных полей коры. Уровень действий оснащен в качестве эффекторов группами премоторных полей коры (6,8,42 Bwdmann), асензорно (точнее гоиора, здесь уже гностически) — системой нижнетеменных полей, окруженных вторичными и третичными зонами кортикальных центров осзания, зрения и слуха. К этому же уровню, наиболее сложному и по обилию выполняемых им движений, и по разнообразию сенсорно-гностических коррекций, и, наконец, по множеству подчиняющихся ему «высших автоматизмов», примыкает в качестве содействующей системы мощный лобно-мосто-мозжечковый агрегат, попутно простирающийся свои ветви глубоко в экстрапирамидную систему и создающий функциональную связь между фронтальными эффекторными центрами уровня и сенсорной корой мозжечка.

Моторные центры головного мозга формируются в эмбриогенезе из двух зародышевых пластинок, обозначаемых Spatz как пристроечная (Fhigelpatte) и основная (undplatte). Из последней, расположенной вентрально, формируется в основном экстрапирамидная, а из первой, дорзальной, — пирамидная эффекторная система.

Удобнее всего обозреть обший порядок развития и принадлежности составных элементов обеих систем к тем или другим зародышевым пузырям мозга, пользуясь следующей таблицей:

Пластинки	ПУЗЫРЬКИ мозга			
	Rhombencephalon	Mesencephalon	Diencephalon	Telencephalon
Дорзальная пластинка — пирамидная система	Кора мозжечка	Tectum Corpora quadrigemina	Thalamus opticus Corpora geniculata (metathalamus) Ganglion habenulae (epithalamus)	Кора полушарий большого мозга

Пластинки	Пузыри мозга			
	Rodentia	Mesencephalon	Diencephalon	Telencephalon
Вентральная пластинка — экстрапирамидная система	Nucleus dentatus мозжечка; Nucleus Deitersi	Nucleus ruber Substantia nigra Nucleus nervi III	Palidum Hypothalamus Tuber cinereum Corpus Luysii	Striatum a) nucleus caudatus b) putamen Ряд полей коры полушарий

Все органы, перечисленные в этой свободной табличке, имеют определенные хронологические пункты возникновения в сложной летописи последовательного «обрастания» мозга. Многие из них, кроме того, распадаются на резко разновозрастные подразделы, отличающиеся друг от друга и по микропсихическому строению, и по связям, и по функциям (рис. 79).

Мозжечок подразделяют: а) *древний (palaeocerebellum)* и б) *новый (neocerebellum)*. К первому относится медиальная непарная часть мозжечка — червячок и небольшие дольки его полушарий — flocculus, имеющиеся у всех позвоночных, кроме ланцетника, и достигающие высокого морфологического развития у птиц. В состав нового мозжечка входят его полушария, появляющиеся в филогенезе только у млекопитающих. В онтогенезе древние отделы мозжечка уже вполне зрелы и обложены миелином к моменту рождения ребенка, тогда как кора его полушарий миелинизируется лишь, на протяжении первого полугодия жизни. Зубчатое ядро мозжечка — его эффекторная часть — также расчленяется на два отдела, тесно связанные соответственно с древним и новым мозжечком. Оба эти отдела дают обильную сеть проводящих путей, оканчивающихся либо в красном ядре, либо в ядре Дейтерса.

Красное ядро — ведущий представитель экстрапирамидной эффекторной системы в среднем мозгу — опять-таки распадается у человека и приматов на две части, именуемые *palaeo-* и *neombrum*. Древняя часть ядра, крупноклеточная, расположена каудально; как раз от нее и начинается руб-

218

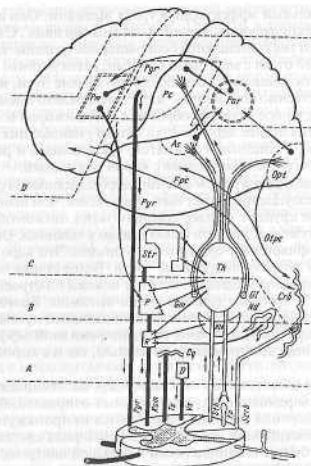


Рис. 79. Схема основных ядер и проводящих путей мозга с указанием распределения их по координационным уровням А-Д.

Для удобобозри мости схемы действительное пространственное расположение ядер сильно искажено. Ядро-К — красное ядро, Д — ядро Дейтерса, Сд — четверохолмие, Нth — hypothalamus, М — зубчатое ядро, Р — pallidum, Гm — внутреннее и СГ — наружное колленчатое тело; Сzb — кора мозжечка, Sir — striatum, Th — зрительный бугор, Рm — премоторная зона коры, Руг — пирамидная область, Рс — постцентральная извилина, Ас — слуховая, Opt — зрительная зона, Par — теменная область. Пути: Руг — пирамидный, Bsm — рубро-спинальный, Тс — тектоспинальный, Vs — вентродорсальный, Vm — спиноталамический, Рр — заднестолбовой, Verb — спинодеридеальный, Ррс — фронто-понтocerebellарный, Отрс — затылочно-височно-понтocerebellарный путь

ро-спинальный эффекторный тракт Monakow. Она имеется у всех млекопитающих, начиная от самых низших¹. С боков и спереди от нее помещаются более молодые разделы: крупноклеточный отдел с местными связями, ретикулярное ядро, в котором оканчиваются церебелло-фугальные пути, и, наконец, собственно neogubrum — ядро с мелко клеточным строением, связанное главным образом с лобной корой и oreogubrium. Это последнее ядро имеется только у наивысших млекопитающих — хищных и приматов, увеличиваясь и развиваясь в филогенезе параллельно с корой полушарий.

Развивающееся рядом с gubrium ядро substantia nia связано с корой полушарий, может быть, еще теснее, чем neogubrium. Это самое крупное из ядер среднего мозга пигментировано (т. е. заслуживает эпитета «nia») только у человека. Оно возникает в филогенезе сравнительно поздно. Это ядро распадается на две разновозрастные части. Более старая часть не пигментирована, бедна клетками и похожа по строению на pallidum, с которым связана очень интимно. Более новая часть соединена двусторонними проводящими путями как с обоими прочими центрами экстрапирамидной эффекторной системы, красным ядром и striatum, так и с корой полушарий.

Самые обширные из мозговых ядер, являющихся субстратами координационно-двигательных отравлений центральной нервной системы, развиваются из промежуточного мозга (diencerphalon): это гигантская сенсорная система зрительного бугра с его придатками и большой центр экстрапирамидной эффекторной системы — pallidum.

Система *зрительного бугра* составляется из собственно thalamus и придатков его: metathalamii, которому принадлежат промежуточные центры зрения и слуха — коленчатые

¹ Ни для красного ядра, ни для substantia nia и corpus Luysii млекопитающих не установлено надежных гомологов у рептилий и птиц. Само красное ядро очень сильно изменяется в филогенезе млекопитающих. Для substantia nia предполагаемыми гомологами у птиц являются nuclei ectopendunculares, для corpus Luysii — nucleus rotundus (Ariens Kappers, Spat.).

гола, и epithalami, включающего такой же транзитный центр обоняния — ganglion habenulae. Thalamus в тесном смысле распадается на: а) разделы, к которым прибывают вторые нейроны проводящих сенсорных путей с периферии тела, и б) разделы, обладающие двусторонними нервными связями с вышестоящими центрами — с корой полушарий. В первых, более каудальных, оканчиваются аксоны задних столбов и спино-таламического тракта спинного мозга и аксоны тройничного нерва, т. е. полностью *вся тангорецепторика*, за исключением только вкуса: проприоцептивная, осязательная, болевая и температурная чувствительность со всего тела. Thalamus обладает исключительным обилием центрально-нервных связей и богатой citoархитектонической расчлененностью (O. & C. Vogl насчитывают в нем у обезьяны свыше 40 участков). Следует отметить резкий, *не отраженный* биогенетически в индивидуальном развитии человека перелом, пережитый зрительным бугром в эволюционной истории. Гомологи зрительных бугров у холоднокровных (lobi optici) являются верховными центрами тангорецепторики, в то время как такая же верховная функция для теле-рецепторов реализуется ядрами покрывки среднего мозга. У птиц и млекопитающих с появлением и развитием сенсорной коры полушарий (гораздо более древней, чем моторная) их чувствительность постепенно перекладывается на двух-нейронную внутримозговую схему: thalamus в тесном смысле становится транзитным центром для тангорецепторики, а его более молодые придатки, meta- и epithalamus — для теле-рецепторики, транслируя сенсорную сигнализацию обоих видов в кору. Эта передача совершается с очень глубокой предварительной переработкой сигналов в системе thalami, причем значительный их процент отсеивается таламической системой, обращается ею через обширные синаптические связи thalami непосредственно в экстрапирамидную эффекторную систему и в связи с этим не достигает порога сознания, обеспечивая в то же время адекватные координированные реакции и их фоновые элементы.

Верховный, эффекторный центр низших позвоночных (рыб и амфибий), *pallidum*, цитоархитектонически построен очень просто. Он не расчленяется на поля; в нем резко преобладает один вид клеток — крупных, с длинными дендритами, похожих на двигательные клетки моторной зоны коры. Внутри самого pallidi пролетает много миэлинизированных аксонов, придающих ему бледную окраску, обусловившую его название. *Corpus Luysii*, тесно примыкающее к pallido и по связям, и по ходу развития, появляется, однако, в филогенезе гораздо позднее его — только у млекопитающих. Сам pallidum очень мало изменяется в филогенезе; он только разделяется на две части прослойкой белого вещества, начиная с приматов. Связи pallidi определяются его срединным положением в экстрапирамидной эффекторной системе: к нему подходят объемистые пучки волокон от его сенсорного спутника — зрительного бугра — и от возглавляющего pallidum эффекторного центра — полосатого тела (*striatum*). От него отходит массивный проводящий путь к контралатеральному красному ядру (это и есть эффекторный путь pallidi) и к его менее значительным соседям. У человека к моменту рождения все эти пути миэлинизированы и вполне готовы к действию.

Наконец, из оконечного мозгового раздвоенного пузыря (*telencephalon*) возникают и развиваются высшие эффекторные приборы головного мозга, наиболее новые филогенетические: *corpus striatum*, или полосатое тело, — из вентральной зародышевой пластинки, а *эффекторные поля коры* (пирамидные, премоторные и фронтальные) — из дорзальной пластинки.

Striatum возникает в филогенезе, начиная с пресмыкающихся; его появление ставят в связь с утверждающимся переходом на сухопутные формы локомоций (ползание, лазание по скалам и деревьям), свойственные еще животным. Он достигает вершины своего развития у птиц, еще лишенных пирамидной системы и полушарий мозжечка. У млекопитающих *striatum* разделяется на два парных ядра, терри-

ториально далеко расходящихся друг от друга: хвостатое ядро (п. *caudatus*) и скорлупу (*putamen*). У человека стриальная система еще не развита к моменту рождения и одевается миэлином только к пятому-шестому месяцу жизни. *Striatum* построен сложнее pallidi; он содержит два вида клеток, не обнаруживая, впрочем, какой-либо расчлененности по цитоархитектоническому признаку. Напротив, *putamen* очень сходен по своему строению с *nucleo caudato*.

Из двух типов клеток *striati* многочисленные мелкие, с короткими аксонами, не выходящими за его пределы, считаются его рецепторными клетками. Редко разбросанные там и сям крупные эффекторные клетки все направляют свои аксоны в pallidum: других эффекторных выходов у *striatum* явно нет. Аfferентация *striati* почти целиком происходит из *thalamus*. Связь с корой полушарий, для pallidum бесспорная, здесь не доказана.

Новейшие органы моторики в головном мозгу, возникающие и развивающиеся позднее других как в фило-, так и в онтогенезе, — это *пирамидная эффекторная система* и в известном смысле надстрельные над ней фронтальные системы коры полушарий. В филогенезе пирамидная эффекторная система появляется только у млекопитающих. У низших млекопитающих — грызунов — имеется вначале только одно гигантопирамидное поле 4 с эффекторными клетками Беца в пятом слое, но оно уже велико и порядочно расчленено. У более одаренных мотормоно грызунов, как белки и зайцы, намечается премоторная зона 6 Vogt (М. О. Гуревич, Г. Х. Быховская; см. рис. 71). Передняя гранулярная область (поля 8 и 12) появляется только у хищных, у которых премоторные поля 6 достигают значительного развития. У собакоголовых обезьян прибавляется еще поле 9 в лобных долях, у высших обезьян — фронтальные поля 10 и 11; наконец, у человека появляется еще целая полоса совсем новых полей в лобной доле (44 по 47 Brodmann), а премоторная зона начинает резко преобладать над первичной моторной пирамидной зоной. Функциональная расчлененность последней у высших

обезьян и человека очень велика, обеспечивая точную соматотопическую проекцию почти каждой мышцы тела. Правда, изобилующие как между отдельными возбудимыми элементами пирамидной зоны, так и между ними и элементами примыкающего к ней спереди премоторного поля крайне динамичные и тонкие функциональные взаимовлияния очень осложняют эту сомато-топическую ясность; всевозможные явления облегчения (*facilitation*), одновременной и сукцессивной индукции и т. д. в значительной степени маскируют и смазывают ее при точных опытах (*Leyton & Sherrington, Gmnbaum, Lashleymip.*)

В онтогенезе эти кортикальные системы созревают еще значительно позднее экстрапирамидных: у человека пирамидная эффекторная система и ее проводящий путь в спинной мозг окончательно миелинизируются только во втором полугодии внеутробной жизни, а премоторные и фронтальные системы — на втором году жизни. Как будет показано ниже, эта постепенность очень явственно сказывается на развитии моторики маленького ребенка.

Приведенный очерк морфогенеза эффекторных систем необходимо дополнить хотя бы самым кратким обзором филогенетической истории развития их физиологических отклонений.

Следующая схема была предложена в основном Foix-Nicolesco и дополнена М. О. Гуревичем, а позднее — автором. Она разделяет весь ход постепенного обогащения моторики позвоночных на четыре последовательные ступени. Эти ступени сопряжены с вступлением в строй, по прежним авторам, очередных, более новых и высокостоящих *эффекторных ядер*, а по воззрениям, излагаемым в настоящей книге, — очередных, переславляющих друг друга *координационных уровней построения*, включающих в состав своих субстратов как эффекторные, так и рецепторные структурные элементы. Как это будет видно из дальнейшего, схема Foix-Nicolesco очень близка к нашей, изложенной в предыдущих главах, лестнице уровней.

Самая ранняя из этих ступеней соответствует примату *талама-паллидарной системы* и имеет место у рыб, отчасти у земноводных. Для нее характерны монотонные, плавные движения, охватывающие все тело, представляющие собой что-то вроде перистальтических волн. Эти движения — плавников, хвостовых перьев и т. п. — не прекращаются ни на минуту даже и при спокойном стоянии рыбы на одном месте. В инвентаре движений почти все 100 % составляют плавательные локомоции, оформляемые как крайне обобщенные, охватывающие все тело синергии. Движения по большей части неторопливы, округлы и ритмичны.

Вторая ступень характеризуется первенствующим положением *striati*, т. е. того образования, которое соответствует в нашей систематизации *нижнему подуровню С1 пространственного поля*. Эта ступень начинает развиваться у сухопутных амфибий, четко представлена у рептилий и достигает кульминационной точки своего развития у птиц. Преобладание *striati* с доступными ему качествами сенсорных коррекций обеспечивает этим животным их сложные локомоции ползания, лазания и летания — передвижения уже не «туловищного», а «конечностного» типа. Очень высокой ступени развития достигает владение равновесием. Статика уравновешенной позы не составляет проблемы для рыбы; здесь, напротив, вырабатываемая целая система статико-кинетических регулирующих механизмов. Сохраняя все фоновые синергетические возможности, обеспечиваемые им ушедшей вглубь таламо-паллидарной системой, животные эти располагают уже средствами для их затормаживания и регуляции. Они способны заставлять неподвижно и, наоборот, делать порывистые броски. Движения туловища, головы и шеи имеют своеобразный атетонидный характер, вязкий, тестообразный, сменяясь временами на восковую, статуеобразную неподвижность, совершенно чуждую млекопитающим. Этот самый стиль, к слову сказать, сохраняют движения данного уровня и у человека, когда патологические условия вызывают его гиперфункцию. Наряду с осложнением и увеличени-

ем разнообразия локомоций имеет место и возникновение целого ряда движений других категорий, иногда достигающих высокого координационного совершенства и создающих (вполне ложную) иллюзию принадлежности их к уровню действий (например, витье гнезд). Птице доступны многочисленные движения, никогда не встречаемые у рыбы: движения туалета, смазывание перьев жиром, кормление птенцов и т. п. Здесь впервые появляются выразительные движения и звуки: мертвенные крики лягушек сменяются песней, возникает и танец. Ориентировка в пространстве и точность целевых локомоторных перемещений достигают высокого совершенства, говоря о начинающемся уже (у наиболее высокоразвитых хищных птиц) развитии верхнего подуровня пространственного поля *C2*. Истинных предметных действий — праксий из уровня *D* — еще нет и следа. Пластичность и способность к построению новых двигательных комбинаций очень низки.

Третья ступень — господство уровня *пространственного поля C* во всем его объеме, сопряженное с возникновением и развитием пирамидной эффекторной системы и наступающее впервые у млекопитающих. Опять-таки, не теряя качественно ничего из координации, приобретенных на предыдущих двух ступенях, животные приобретают сверх этого большой и все возрастающий процент однократных, не стереотипных целевых движений нападения, охоты, скачка и т. д. Все более возрастает пластичность, дрессируемость, способность к импровизации *ad hoc* новых двигательных комбинаций. Резко разнообразятся движения туалета и самообслуживания. Очень обильными становятся образующие уже переход к предметным действиям игры в компании, педагогические действия и показы и т. д., отсутствующие у более древних классов позвоночных. Наряду с выразительными *звуками* и интонациями появляется мимика и выразительные *движения*. Вся совокупность движений утрачивает тот вязкий, липкий стиль, сменяемый статусобразными застытиями тела, который везде и всегда свойствен преобла-

данию стрийных иннервации. Движения становятся эластичными, напоминающими движения пружины; покой перестает быть абсолютным, насыщаясь то адверсивными, тостораживательными движениями, то привычными ритмическими покачиваниями хвоста, то еще иной произвольной двигательной мелочью. Постепенно начинают появляться истинные смысловые цепи, свидетельствующие о возникновении зачатков предметного уровня.

Намеченная М. О. Гуревичем четвертая, *фронтальная*, ступень приобретает главенствующее положение у приматов и человека, но скачок, преодолеваемый ею от высшей обезьяны до человека, колоссален. Если в экстрапирамидных движениях человек совершил по сравнению с птицами неоспоримый шаг назад; если в движениях, входящих в инвентарь уровня пространственного поля, целый ряд млекопитающих превосходит своей моторикой человека: одни — по резвости, другие — по силе, третьи — по меткости, устойчивости, неумимости, дальности прыжка, совершенству равновесия и т. п., то в области предметных действий и смысловых цепей все, чем располагают даже антропоидные обезьяны, является лишь элементарными зачатками по сравнению с неисчислимыми психомоторными богатствами, освоенными человеком. В предыдущей главе были рассмотрены как немногочисленные примеры действий из уровня *D* у млекопитающих, так и главные характеристики двигательных проявлений этого уровня у человека, и к сказанному более не остается ничего добавить.

Обращаемся к очерку развития координации в онтогенезе человека. В этой главе будет рассмотрен естественный ход развития моторики в детском возрасте. То, что касается выработки новых двигательных навыков, обучения, тренировки и тренируемости у взрослого индивида, составит предмет отдельной (VIII) главы.

Естественный онтогенез моторики складывается из двух очень разновременных фаз. Первая фаза есть анатомическое созревание центральонервных субстратов двигательных

функций, как уже сказано, запаздывающее к моменту рождения и заканчивающееся (по крайней мере, в отношении миелинизации) к 2—2,5-год овал ому возрасту. Это созревание сопровождается и функциональным столь же поочередным вступлением в строй мозговых эффекторных систем; однако же полного совершенства и налаженности своих отпавлений они достигают значительно позже. Вторая фаза, затягивающаяся иногда довольно далеко за возраст полового созревания, и есть фаза окончательного функционального дозревания и налаживания работы координационных уровней. В этой фазе развитие моторики идет даже не все время чисто прогрессивно: в некоторые моменты и по отношению к некоторым классам движений могут иметь место временные остановки и даже регрессы, создающие сложные колебания пропорций и равновесия между координационными уровнями. Что именно соответствует анатомически этому функциональному дозреванию — еще совершенно не ясно.

По характеристике Veraguth уже внутриутробные движения, наблюдаемые с шестого месяца беременности, свидетельствуют об очень дифференцированной деятельности промежуточных (рефле прообразующих) систем спинного мозга. Самые первые движения новорожденного — дыхание и крик. При первом же прикладывании к груди ребенок способен уже повернуть голову, ища сосок. С этого же момента начинают действовать рефлексы сосания и поворота головы к пальцу, прикасающемуся к щеке.

У грудного ребенка в первые дни после рождения наблюдается еще ряд координированных рефлексов: например, на шекотание булавочной головкой спинки ребенка, лежащего на животе, он отвечает либо отодвиганием позвоночника в сторону от раздражения, либо резким, распрямляющим спину сокращением длинных мышц позвоночника (*m. erectoris trunci*).

Очень важно для уяснения моторики новорожденного помнить, что проводящие пути кортикальных моторных систем и striati и, в известной мере, концевое звено экстрапирамидной эффекторной системы, красного ядра еще не об-

ложены к моменту рождения миелином, так что вполне готова к действию только таламо-паллидарная система головного мозга. По «потолковому» уровню новорожденного Foerster называет его «Thalamus — Pallidum — Wesen», многими чертами своего поведения и поз обнаруживающим свое филогенетическое происхождение от обезьяноподобных предков. «Только в результате дозревания striati первоначальная паллидарная функция — тип карабкания — оттесняется, тормозится, и от нее сохраняются благодаря механизмам избирательного торможения одни лишь целесообразные элементы. Обузданный этим путем pallidum включается уже и на службу взрослого» (Foerster).

Раз речь уже зашла об обуздывании и притормаживании pallidi, надо сказать, что не раз отмечавшееся бесспорное сходство движений грудного ребенка с патологическими движениями атетоза (Meynert, Freud, Spatz), несомненно, связано с тем, что при атетозе, вследствие поражения striati, происходит «высвобождение скованных в норме фило- и онтогенетически низовых двигательных механизмов» (Economoto), осуществляемых pallido.

Грудной ребенок продолжает оставаться «таламо-паллидарным существом» все первое полугодие жизни. В это время ему присущи «массовые, не дифференцированные движения автоматического и защитного характера» паллидарного происхождения. «В первые месяцы жизни у ребенка преобладают охватывающие и хватательные рефлексы, как у обезьян»; «примитивные двигательные реакции, которые у взрослых затормаживаются и выявляются лишь при патологических условиях: сюда относятся мезенцефалические рефлексы Magnusa (*Lage- und Bewegungsreflexe*)». При этом имеют место «массовые двигательные реакции, иногда с характером, напоминающим элементы лазанья и обхватывания, элементарные выразительные движения (недифференцированные реакции страха — *Feiper*), симптомы Бабинского и Моро, супинационное положение ног, которое лишь постепенно превращается в дорзальную и плантарную флексии, атетонидные движения и т. п.» (М. О. Гуревич).

Veraguth отмечает в этом же периоде то, что он называет Strampelbewegungen (брыкательные движения); ротация плеч внутрь, чередующиеся сгибания и разгибания в тазобедренном и коленном сочленениях. Эти двигательные синергии часто связаны с движениями в дистальных суставах, хватательными движениями кистей и интенсивной игрой ножных пальцев. Пути, по которым вызываются эти движения, — рубро- и вестибулоспинальные, т. е. низовые экстрапиримидные; в качестве вызывающих раздражений уже возможны проприоцептивные, обуславливаемые смещениями центров тяжести частей тела.

Итак, оба автора, и М. О. Гуревич, и Veraguth, согласно отмечают высокий процент разлитых, но вполне бесполозных, иногда реактивных, но чаще спонтанных синергий.

Заслуживает упоминания, что в раннем постнатальном периоде человека отсутствует один переломный момент, очень характерно выступающий у тех млекопитающих, которые рождаются слепыми. У новорожденных котят, щенят в течение всего времени до открытия глаз совершенно отсутствует субординационная регуляция хронаксий и тонуса, что ярко проявляется в их медленных, дрожащих, «пресмыкающихся» телодвижениях на расположенных в стороны лапках. Хронаксии мышц конечностей держатся все это время на очень высоком уровне. Момент прозревания сопровождается, синхронно или почти, скачкообразным включением механизмов субординации, столь же быстрым снижением мышечных хронаксий до их нормальных значений (Аршавский) и включением в рефлекторную деятельность проприоцептивной чувствительной системы, до этой поры неработоспособной¹.

Пяти-шестимесячный возраст — очень важный переломный момент в моторике грудного ребенка. К этому времени более или менее одновременно заканчивается анатомические созревания двух важнейших систем: обкладываются миелином и вступают в работу: 1) группа красного ядра с под-

¹ До этого момента прозревания обычно не удается вызвать у детеныша и феномена децеребрационной ригидности.

ходящими к этому ядру путями, обеспечивающая функцию низового уровня А палеокинетических регуляций, и 2) striatum с его эффекторными путями к pallidum, являющийся субстратом эффекторной части нижнего подуровня пространственного поля С1.

Если подытожить главные функциональные приобретения, которые обуславливаются этим морфологическим обогащением, то получится следующее.

В отношении статики — к началу второго подуровня жизни ребенок обретает позу. До этого времени его туловище лежало на спине, тяжелое и неподвижное, а присоединенные к нему короткие и слабые конечности совершали только всевозможные брыкательные движения вхолостую, без полезной нагрузки и чего бы то ни было, что объединяло бы эти движения между собой. Striatum (и содружественно с ним созревающая система красного ядра) приносит с собой позу: уровень А — ее тонические и рефлекторные предпосылки и возможности, уровень С1 — ее синергетическую лепку. Ребенок приобретает возможность сидеть, ложиться, сидеть, переворачиваться на живот, а еще немного спустя — вставать и стоять.

В динамике можно подытожить наступающие в это время изменения как переход от синкинезий к синергиям. Под первым мы понимаем одновременные движения, лишенные смысловой связи и у взрослого всегда являющиеся патологией; под вторыми — содружественные движения или их компоненты, направленные к совместному разрешению определенной двигательной задачи. В первом полугодии уже само положение ребенка не позволяло ему ничего, кроме разрозненных движений конечностей вхолостую. Теперь туловище из мертвого груза становится органом подвижной опоры и движения; конечности начинают работать с нагрузкой, зачастую используясь как упоры¹. Эта перемена опира-

¹ При вставании грудной ребенок использует довольно сложный прием, обозначаемый Schaltenbrand как quadripedaks Syndrom: поворачивание со спины на живот, вставание на четвереньки, выпрямление колен, все еще стоя на четвереньках, наконец, вставание на ноги — вместо обычного для взрослого человека вставания со спины путем подема туловища за счет сгибания тазобедренных сочленений. У грудного ребенка мо-

ется как на вступление в работу рефлекторного шейно-туловищного тонуса (т. е. на правильное функционирование уровня *A*), хаки на прогресс в чисто анатомическом развитии скелета и мускулатуры конечностей¹.

Хотя определение новорожденного как «таламо-паллидарного существа» в общем верно, а к моменту рождения таламо-паллидарный уровень у него работоспособен, но в самом первом периоде жизни от pallidum, хотя и монополиста по синергиям, пригодных на что-либо синергии получается мало: до окончательного созревания рубро-спинальной системы уровень синергии имеет в своем распоряжении лишь скудные и не прямые выходы к клеткам передних рогов.

Вступающий в описываемое время в работу уровень *A* приносит с собой еще и правильное функционирование вестибулярной системы, как отолитовых аппаратов, так и полукружных каналов, а это создает для ребенка возможность поддержания динамического равновесия при сидении, вставании и поворотах, регулирует, в свою очередь, его мышечный тонус и приводит к зачаткам активного синтетического познания ребенка совсем сперва пространственных очертаний собственного тела (*Körperschema*), а затем и окружающего пространственного поля.

В это же переломное время начинается прогресс и в области издавания звуков. Язык и голосовой аппарат — инструмент, на котором по ходу онтогенеза по очереди упражняются все координационные уровни. Таламо-паллидарный уровень синергии, с которым ребенок родится на свет, в состоянии извлечь из него одни лишь невыразительные звуки: первый младенческий крик, бурчанье, гуление с лишенным какого бы то ни было смыслового значения «агу» и т. п. Первые

¹мент тяжести туловища с голо-
ментом ног для используем-
Kleist указывает на возможное локализа-
ских и динамических функций в экс-
теме. Статика осуществляется в триапирамидной эффекторной систе-
(putamen) striati, динамика — наружным ядром pallidi и nucleo caudato

месяцы жизни ребенок не умеет плакать, а может только кричать. Точно так же совершенно отсутствует мимика: существуют только гримасы — синкинезии, являющиеся свободной, ничего не выражающей игрой мышц.

Стриальный подуровень приносит с собой две важнейшие звуковые и мимические синергии — *смех и плач*; появляются выразительная мимика, отражающая элементарные эмоции удовольствия, страдания, испуга, интереса, гнева. Последующее включение пирамидного, верхнего подуровня пространственного поля *C2* дает (забегая здесь несколько вперед) все еще нечленораздельные, но уже целевые звуки типа требования. Наконец, созревание премоторных полей (к числу которых принадлежит и поле *D*) и системы уровня действий даст ребенку на втором году жизни первые настоящие слова речи.

Все второе полугодие жизни протекает под знаком постепенного дозревания уровня пространственного поля с понемногу завершающимся внедрением пирамидных механизмов верхнего подуровня, вытесняющих старые паллидарные суррогаты. Очень выразителен здесь пример, характеризующий развитие в раннем онтогенезе одной из простейших психомоторных функций — *схватывания предмета*. В первые же недели жизни ребенок способен уже зажать в ручке стигматальным движением пальцев предмет, подсунутый ему в ладонь и раздраживший ее тактильные окончания. Это есть более или менее беспримесный спинальный рефлекс, может быть, слегка подкрашенный участием рубро-спинального уровня *A*. С четвертого-пятого месяца начинаются попытки схватывания зрительно воспринятого предмета (например, яркой игрушки, подвешенной в поле зрения). Эти попытки выглядят как очень диффузные, беспорядочные и иррадиированные синкинезии, нечто вроде бурных вспышек бархатания, при которых приходят в чередующееся ритмически качательное движение все четыре конечности и в которые втягивается мускулатура и лица, и шеи, и туловища. Такой приступ иррадиированного двигательного возбуждения мо-

жет привести к случайному столкновению ладони с железямым предметом и успешному его захватыванию; тогда все на этом и заканчивается. Если же такого удачного исхода не последовало, то вспышка иссякает сама собой, чтобы через десятков-другой секунд дать место следующему подобному же приступу. На втором полугодии жизни сквозь подобные гиперкинетические, типично таламо-паллидарные взрывы начинают пробиваться, чередуясь с ними, однократные, простые целевые движения одной ручки за предметом на уровне пространственного поля — сперва неточные, атактические, с большим процентом промахований, а в дальнейшем все более и более адекватные. К годовалому возрасту у нормально-ребенка хватательный процесс уже окончательно перекладывается на пирамидную систему — на наиболее адекватный ему уровень пространственного поля. Эта последовательность в развитии акта хватания, как показано ниже, демонстрирует, как по мере онтогенетического развития и созревания координационных уровней и кинетических систем двигательный акт ползет по уровням вверх вплоть до того, на котором он будет реализовываться далее во взрослом состоянии.

Уровень	Характер движения	Афферентгаши
<i>A</i>	Защелкивание (Spergung)	Тактичная
<i>B</i>	Синкинзии, гиперкинез	Зрительное диффузионное раздражение
<i>C</i>	Целевое однократное движение: атаксия, позднее — точное попадание	Зрительный образ вещи в координатах пространственного поля

Своеобразно, что схватывание видимого предмета 4—5-месячным ребенком продолжает иногда совершаться с описанными иррадиациями и гиперкинезами еще и тогда, когда затаскивание в рот предмета, находящегося в руке, выполняется уже вполне координированным, простым и однократным флексорным движением. По-видимому, это объясняется тем, что движение ручки *кору* с предметом или без

него соответствует по направлению естественному влечению ребенка, в то время как для схватывания и присвоения себе предмета, подвешенного в поле зрения, необходимо сделать противоречащее примитивному влечению экстензорное движение *от себя*, что удастся позже и значительно труднее.

Все второе полугодие жизни представляет собой *прелокомоторный период* развития моторики: подготовку к ходьбе и бегу и широкое использование локомоторных суррогатов — ползания. Для уяснения сущности этой подготовки к локомоциям напомним, что законченная координационная структура ходьбы и бега включает содружественную работу всех уровней построения снизу доверху. От рубро-спинального уровня идут механизмы: 1) динамического управления тонусом как туловища, так и конечностей, 2) прямой и перекрестной реципрокной иннервации и 3) вестибуло-мозжечкового контроля равновесия. Таламо-паллидарный уровень обеспечивает основную громадную синергию ходьбы, включающую в ритмическом чередовании почти все 100 % скелетной мускулатуры. Стриальный подуровень осуществляет прилаживание обобщенной паллидарной синергии, еще не относимой самим уровнем *B* к внешнему пространству, к фактической обстановке ходьбы: фактуре и неровностям почвы, ступенькам, наклонам, канавкам и т. д. Наконец, верхний, пирамидный подуровень пространственного поля настраивает на этот уже вполне реальный и целесообразный процесс передвижения то, что придает ему непосредственно целевой характер пройти туда-то, за тем-то, по дороге обернуться и взять то-то, метнуть с разбега мяч или гранату и т. п.

Опираясь на это расчленение, легче ориентировать в той интенсивной подготовительной работе, которая совершается в течение прелокомоторного полугодия в двигательной сфере ребенка.

Еще до окончательного вытеснения кажущихся бесцельными «брыкательных» движений у ребенка формируются столь важные для локомоции основные движения, участвующие в актах сидения и стояния и связанные с работой рас-

прямляющих мышц туловища и тазового пояса, — главных стабилизаторов равновесия всего тела. В этом периоде тело научается удерживать и нести свою массу над минимальными поверхностями опоры. Для интеграции этих уравновешивающих движений необходимы процессы, выполняемые экстрапирамидной эффекторной системой, в особенности передаваемые ею импульсы вестибуло-мозжечковой системы (*Veraguth*).

В этом самом раннем периоде подготовки к ходьбе ребенок сталкивается с рядом добавочных чисто антропометрических затруднений, исчезающих в более позднем возрасте. Нижние конечности, особенно тазобедренная мускулатура, очень слабы. Сами ножки короткие и вдобавок полусогнуты из-за незакончившегося формирования нормального поясничного лордоза. Общий центр тяжести тела, вследствие относительно очень больших масс туловища и головы и указанной короткости ног, располагается более высоко над тазобедренной осью, нежели у взрослого. Это создает очень значительный момент (рычага) верхней части тела относительно тазобедренной оси и при слабой мускулатуре этой области ведет к беспрестанному подгибаниям тазобедренных суставов. Недаром годовалый ребенок так часто шлепается на ягодицы, благо ему невысоко падать. Относительно меньшие, чем у взрослого, опорные площадки подошв также создают ребенку дополнительные трудности. Все наблюдения выделяют в качестве основных затруднений этого периода два: поддержание равновесия и борьба с моментом тяжести относительно тазобедренной оси.

Далее для локомоции необходима как предпосылка известная надежность работы промежуточных систем: тонкая, балансирующая игра мышц стопы при стоянии, перекрестная шагательная синергия («stepping») и т. д. Далее следуют высокодифференцированные регуляции с мозжечка, транслируемые через красное ядро: борьба с силой тяжести, умелое целесообразно перемещать общий центр тяжести тела, установка и движения ног и т. д. Все эти приобретения ука-

зывают на достигаемый к этому времени высокий класс регуляций с мозжечка, красного ядра и таламо-паллидарной системы.

Амплитуды и темпы локомоторных движений обуславливаются в основном аппаратами экстрапирамидной эффекторной системы, импульсы которых передаются через красное ядро и рубро-спинальный тракт.

Настоящая двуногая локомоция развивается в начале второго года жизни (рис. 80, не помещен. — Прим. ред.). «До этого времени, помимо недоразвития нервных аппаратов, мускульная система нижних конечностей и даже их вес сравнительно с весом всего тела слишком недостаточны для поддержания статики. В возрасте 1—2 лет отмечаются неуклюжесть и неустойчивость движений, зависящие от недостаточной дифференцировки и отсутствия необходимой регуляции тонуса. У детей этого возраста налаживаются выразительные и защитные движения и начинают появляться обиходные движения (т. е. движения быта и самообслуживания. — И. Б.). Таким образом, стриальные функции в их статических и кинетических проявлениях достигают значительного развития, пирамидные же функции развиты еще очень слабо, движения крайне неточны, наблюдается масса синкinezий. Положение тела характеризуется наличием некоторого лордоза» (*М. О. Гуревич*).

Локомоция ребенка второго года жизни — это не ходьба и не бег, а нечто еще не определенное и не дифференцированное (*Т. С. Попова*). Дивергенция бега от ходьбы начинается не ранее третьего года жизни (рис. 81). Сложная биодинамическая структура ходьбы, свойственная взрослому, еще совершенно отсутствует у начинающего ходить ребенка. Вместо обширной гармоничной системы импульсов, заполняющих в неизменном порядке и конфигурацией силовые кривые ножных звеньев взрослого на протяжении одного двойного шага, у 12—18-месячного ребенка налицо только одна пара взаимно обратных (реципрокных) импульсов — один прямого, другой попятного направления, совпадаю-

ших с тем, что наблюдается, например, при шагательном рефлексе (stepping) у децеребриро ваннх кошек. Эта стадия иннервационного примитива длится около года, т. е. примерно до начала третьего года жизни.

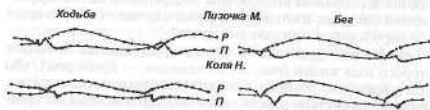


Рис. 81. Циклограммы движения голенистопоного сочленения и кончика стопы при «ходьбе» и «беге» двух детей 1 года 4 мес. Разница сказывается почти только в незначительных отличиях длины шага (Т. С. Попова)

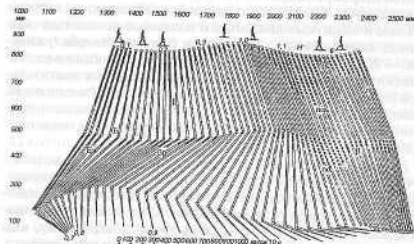


Рис. 82. Последовательные положения правой ноги при ходьбе на протяжении переносного времени с обозначением фаз важнейших силовых волн ходьбы и с нанесенными значениями равнодействующих мышечных силовых моментов в сочленениях ноги.

Моменты тазобедренной мускулатуры обозначены полными линиями, моменты на бедре, моменты коленной мускулатуры — на голени, мимикрия, направленные вперед (разгибательные), изображены черными; моменты, направленные назад (сгибательные), — штрихованными полосками (работа автора, ВИЭМ, 1935 г.)

Полный инвентарь динамических импульсов ходьбы развивается далеко не сразу, заполняясь окончательно только к пятилетнему возрасту. Очень постепенно отдельные элементы силовых кривых переходят из группы непостоянных, встречающихся не в каждом шаге и имеющих тенденцию пропадать при увеличении темпа ходьбы, в категорию постоянно появляющихся при медленных темпах и, наконец, в группу безусловно постоянных. Таким образом, постепенное появление и закрепление новых структурных элементов не стоят ни в какой связи с выработкой элементарной координации и равновесия при ходьбе: в 3—4 года ребенок не только уже давно безукоризненно ходит, но и бегает, прыгает на одной ножке, катается на скутере или на трехколесном велосипеде и т. п. Это значит, что механизмы координирования всевозможных видов локомоций и поддержания равновесия выработаны к этому времени давно и прочно; те же структурные элементы, о которых здесь идет речь, имеют, очевидно, иное значение и связаны с более тонкими деталями двигательного акта. С точки зрения нервной структуры ходьбы характеризующие динамические элементы отражают собой сложную синергетическую работу таламо-паллидарного уровня, и, как видно из изложенного, их выработка запаздывает на целые годы по сравнению с временем анатомического созревания не только pallidi, но и striati, и пирамидной системы.

Дальнейшие циклограмметрические наблюдения Т. С. Поповой показывают, что развитие динамической структуры ходьбы протекает в онтогенезе отнюдь не по кратчайшему пути. Примерно в период между 5 и 6 годами имеет место подчас огромное перепроизводство динамических импульсов в ножных силовых кривых при полной бесформенности последних в то же время. После 8 лет эти «детские» элементы подвергаются один за другим обратному развитию, а кривые понемногу приобретают свои характеристические формы, присущие взрослому человеку. Инволюция этих избыточных волн, сопряженная с превращением кривых из бесформенных зубчаток в типические конфигурации,

является результатом того избирательного оформляющего торможения со стороны стриатума, по поводу которого уже было выше цитировано мнение Foerster. Возможно, что часть этих «лишних» зубцов отражает собой «парирование» сбивающих реактивных сил фазическими импульсами, исходящими из пирамидной системы (см. гл. VIII). Упрощение форм динамических кривых и ликвидация «детских» избыточных элементов в них обуславливаются в биодинамическом отношении переходом к более совершенным способам борьбы с реактивными силами, возникающими при движении в многосвязных кинематических цепях конечностей. Такой переход к более экономичному и тонкому способу координирования, по-видимому, связан, с одной стороны, со вступлением в работу более высокоорганизованного анатомического субстрата и более дифференцированного функционального уровня, а с другой — с текущим во встречном направлении процессом автоматизации, т. е. переключения упомянутых кортикальных реактивных компонент в ниже лежащий, но более адекватный для них уровень построения.

Биодинамическая дивергенция бега от ходьбы начинается не ранее третьего года жизни — с организации *полетного интервала* бега, вначале совершенно отсутствующего. По-путно с более или менее тонкими иннервационными изменениями идет и результативное биодинамическое усовершенствование детского бега (рис. 83). Длина шага неуклонно растет: на пятом году она удваивается, на восьмом — утраивается, к 10 годам, в спринте, становится почти в 4,5 раза больше по сравнению с данными ребенка, едва начинающего бегать. Разумеется, длина ног не растет в такой же прогрессии, так что в самом главном увеличении длины шага обуславливается возрастанием угловых амплитуд в суставах и удлинением полетного интервала. Средняя скорость бега также неуклонно растет: уже в возрасте 3—4 лет она удваивается, к 5 годам увеличивается вдвое, а к 10 годам становится в пять раз больше, достигая 5,75 м/с (около 20,7 км/ч) и становясь вчетверо больше, чем скорость ходьбы того же ребенка.

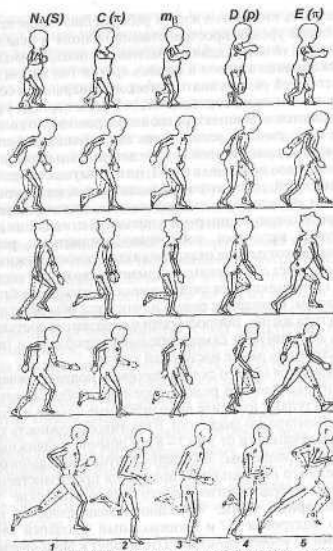


Рис. 83. Положения тела нескольких детей разных возрастов в характеристических фазах бега:

1 — главный толчок махового бедра вперед; 2 — передний толчок; 3 — наибольшее сгибание голени задней ноги; 4 — задний толчок; 5 — последняя фаза отталкивания стопы опорной ноги. Возраст детей (сверху вниз): 1 год 4,5 мес., 3 года 3 мес., 4 года 9 мес., 6 лет 1 мес. и 10 лет (Т. С. Панова)

Если весь второй год жизни ребенка был годом вступления в строй уровня пространственного поля и освоения локомотий, то следующая возрастная ступень, приходящаяся на окончание второго и на весь третий год жизни, представляет собой период анатомического завершения созревания высших психомоторных систем. В этом периоде у ребенка появляются и начинают резко возрастать как по количеству, так и по степени успешности выполнения действия *из предметного уровня*. К этой группе двигательных актов относятся, как было показано в гл. VI, по преимуществу действия двух категорий: собственно предметные, т. е. манипуляции с вещами и орудиями, и символические, включающие элементарные координации речи и письма. В отношении действий первой категории, собственно предметных, ребенок осваивает в этот период целый ряд актов самообслуживания, успешно играет с игрушками и ломает их, возводит сооружения из кирпичиков или песка, начинает что-то изображать карандашом. Овладение речью начинается обычно с начала второго года жизни. Вопросы речи и ее развития составляют, однако, обширную и самостоятельную проблему и полностью выходят из рамок настоящей книги.

Что касается общего склада моторики подрастающего ребенка, то параллельно резкой перемене в общем телесном складе наступают не менее выразительные сдвиги и в характере и инвентаре его движений. В противоположность уральным-двулеткам дети от 3 до 7—8 лет обычно подвижны, поворотливы, грациозны. Это период функционального расцвета нижнего (стриального) подуровня пространственного поля, уже твердо возглавившего синергетические таламо-паллидарные фоны. Функциональная слабость пирамидного подуровня *C2* и минимальный удельный вес отравлений из уровня действий *D* приводят к двум явлениям, очень характерным для этого возрастного периода.

Во-первых, неутомимый во всевозможных локомотиях ребенок сейчас же устает и проявляет поползновение к бегству, если его загрузить какой бы то ни было деятельностью, 242

требующей точности движений или преодоления сопротивления. Самая неутомимость его, проявляющаяся в играх, по справедливому замечанию М. О. Гуревича, в значительной степени иллюзорна, так как там ему не приходится выполнять продуктивных рабочих движений. Вся его двигательная деятельность свободна, непринужденна, начинается и оканчивается в меру его психофизиологических потребностей; видимо, этой непринужденностью в немалой мере обусловливается и изшествие его движений. Неусидчивость ребенка при попытках засадить его за какую-либо работу, связанную с загрузкой уровнем *C2* и *D*, объясняется еще и тем, что он вначале обладает слишком незначительным количеством навыков и умений по этим уровням, чтобы такая загрузка могла надолго заинтересовать и содержательно занять его.

Во-вторых, что очень типично для рассматриваемого возрастного периода, грациозность и локомоторная подвижность соединяются у детей в то же время с очень низким уровнем общетелесной (не говоря уже о ручной) ловкости. Эта «грациозная неуклюжесть», столь характерная для них, объясняется тем, что ловкость, представляющая собой своего рода двигательную маневренность, находчивость, способность к быстрому комбинированию *ad hoc* адекватных двигательных формул, нуждается в высоком функциональном развитии *кортикальных* уровней, *C2nDa* насыщении их известным психомоторным опытом. Именно незрелость этих координационных систем ведет к тому, что дети 3—7-летнего возраста сравнительно так плохо перепрыгивают через препятствия, мечут в цель, лазят по деревьям или веревочным лестницам и т. п. Все это приходит позже, с наступлением отрочества.

О ходе развития детской моторики в последующем периоде имеется значительно меньше наблюдений, заслуживающих доверия и отвечающих плану этой книги, поэтому мы ограничимся здесь лишь немногими дополнениями. Анализ развития акта письма будет помещен в гл. VIII.

Во-первых, необходимо напомнить указанное в гл. VI обстоятельство, что функциональное отличие правой руки от левой присуще отнюдь не всем уровням построения, а начинается существенным образом только с чисто кортикального уровня *D*. Это резкое качественное отличие уровня действий от нижележащих координационных уровней сильно маскируется вторичными осложнениями, возникающими по ходу онтогенетического развития, и потому по большей части оставалось недоучтенным; на анализе этого явления необходимо остановиться.

Маленький ребенок еще совершенно не проявляет различий между правой и левой стороной тела ни в силе мышц, ни в координационной ловкости. Эти различия делаются у него ощутимыми только впоследствии, по мере возрастания в его моторном обиходе количества двигательных актов из уровня действий. Это отнюдь не значит, что ребенок не имеет никаких конституционных предрасположений к право- или леворукости. Напротив, все данные (например, многочисленные генеалогические наблюдения) говорят в пользу значительной роли прирожденных задатков в выделении доминантного полушария мозга, но только обнаруживается эта доминантность одного из полушарий лишь тогда, когда возникает соответствующий проявитель для этой, дотоле латентной, неравноценности. Разногласия различных авторов (*Baldwin, Dix, Stier, Braun* и др.) по вопросу о возрасте обнаружения этой асимметрии у подрастающего ребенка, доходящие до того, что одними этот возраст оценивается в 2 года, другими - в 14 лет, несомненно, объясняются тем, какие именно движения ребенка наблюдал тот или другой автор. Чем больше внимания обращал исследователь на предметные действия, тем раньше должен был он констатировать наступление право-левой неравноценности.

Тесное, неразрывное функциональное сплетение всех видов двигательных отравлений на каждой возрастной степени неминуемо ведет к видоизменяющему воздействию уровней, преобладающих на данной ступени развития, на 244

уровни более второстепенного значения. Этим путем возникают два прямо противоположных факта, не лишенных интереса.

В раннем детстве, когда у ребенка перевешивают экстрапирамидные движения и кортикальные движения не выше все еще вполне симметричного уровня пространственного поля, не только они все лишены отпечатка какой бы то ни было асимметрии, но и немногочисленные и второстепенные пока для ребенка акты из вышележащих уровней принимают на себя тот же оттенок взаимозаменяемости сторон. Отсюда — постоянное смешивание ребенком правой и левой стороны. Он подвергается непрерывным замечаниям воспитателей за то, что берет не в ту руку вилку, ложку, иглу, ножницы; он поражает изобилием зеркально изображаемых им букв и даже целых слов и то и дело случающимся пропитыванием слов справа налево. Ни антропометрических, ни динамометрических различий обеих рук в этот период, как правило, не имеется'.

Во второй половине отрочества и в юности все возрастающее преобладание предметных действий в общей пропорции совершаемых движений приводит к обратному эффекту. Уже вторичным порядком начинается преимущественное развитие правой руки (у природных левшей — левой) не только функционально-координационно, но и прямо анатомически. Теперь наличие в ней большей ловкости, силы, выносливости неминуемо отражается и на степени успешности движений любого уровня; на дальности броска, силе удара, силе сжатия динамометра и т. п. Впрочем, выносливость к статической нагрузке (преимущественно уровень *A*) в очень большом проценте остается на всю жизнь бо- По некоторым авторам, среди детей школьного возраста встречается больше левшей, чем среди взрослых (где их считается 4—5 % явных, до 20 % скрытых). Чем школьники моложе, тем этот процент выше. Это неверно; среди них больше не левшей, а левообразных двигательных актов из-за охарактеризованного в тексте безразличия. Скорее уже можно бы говорить о детской амбидекстрии.

лее значительной в левых конечностях правой по сравнению с правыми, и наоборот — у левой (*Фарфель*).

Общее развитие моторики во второй половине отрочества, между 7 и 10 годами, течет в направлении постепенного овладения теми координационными возможностями, которые создавались у ребенка в результате окончательного анатомического созревания двигательной сферы (как сказано, примерно к трехлетнему возрасту). К началу второго десятилетия у подрастающего ребенка мало-помалу вступают в строй высшие кортикальные уровни со всем тем, что было уже отнесено к их возможностям в предшествующих главах: с одной стороны, прогрессивно налаживаются точные и сильные движения; с другой — все более возрастает количество освоенных двигательных навыков и предметных манипуляций правой рукой. По упоминавшимся выше причинам все больше начинает проявляться *ловкость* в метании, лазании, легкоатлетических и спортивных движениях. Некоторую неспособность к длительной установке на продуктивную работу М. О. Гуревич приписывает все еще недостаточному развитию фронтальных механизмов.

Этому неоспоримому психомоторному прогрессу суждено прерваться по ходу развития подростка целую сложную полосу перестройки, связанную с общей перестройкой организма в период полового созревания и приводящую нередко к временному координационному регрессу.

Диспропорции подростка в пубертатном периоде чаще всего сводятся: а) к резкому выпячиванию уровней пирамидно-коркового аппарата в ущерб экстрапирамидным фоновым уровням; отсюда наблюдаемая в этом возрасте угловатость, неловкость глобальных движений, неустойчивость тонуса; б) к нарушению нормальных, уже начавших устанавливаться взаимоотношений между уровнем действий *D* и фоновыми уровнями, доставляющими подростку необходимые для большинства действий технические сноровки и «высшие автоматизмы». Отсюда происходит деавтоматизация, недостаток точности движений, большая утомляемость. С течением

времени эти диспропорции выравниваются, и у юноши устанавливается индивидуальный психомоторный профиль взрослого человека. Эти сдвиги в моторике в переходном возрасте, совпадающие с разнообразными сдвигами в психике и вместе с ними обусловленные реконструкцией и всего эндокринного аппарата, и нервной системы, бывают в разных случаях очень разнообразными и подводят вплотную к весьма важному вопросу, которого здесь можно коснуться лишь мимоходом. Так как эти колебания и преходящие регрессы не имеют под собой не только каких-либо органических нарушений, но и действительных утрат уже приобретенных навыков, то, очевидно, они зависят от чисто функциональных изменений в уже достигнутых пропорциях между координационными уровнями. Различными эти отклонения бывают отчасти вследствие не поддающихся учету индивидуальных различий между субъектами и путями их развития, но в значительной мере они определяются и тем, каковы были *конституциональные* пропорции между уровнями до наступления пубертатных перестроек и какими они станут по окончании этих перестроек. Этот вопрос о сдвигах пропорций представляет собой лишь одну сторону гораздо более широкой и общей проблемы, которую можно обозначить как *проблему индивидуальных моторных профилей*, т. е. индивидуальных, конституционально обусловленных соотношений между степенями совершенства и способности к развитию отдельных уровней построения. Эта проблема, в свою очередь, близко соприкасается с часто затрагивавшимся вопросом о *моторной одаренности*, гораздо более сложным и вряд ли доступным сейчас методологически правильному разрешению, поскольку он включает трудный для объективного установления пункт количественной оценки. Проблема моторных профилей допускает более надежную качественную трактовку и при этом имеет не меньшее практическое значение.

У разных вполне нормальных субъектов встречаются очень различные относительные степени развития отдель-

ных координационных уровней. Есть лица, отличающиеся большим изяществом и гармонией телодвижений (уровень *B*), руки которых в то же время необычайно беспомощны и не умеют управляться даже с наиболее примитивным орудием. Другие обладают исключительной точностью мелких движений, требующихся, например, при работе часовщика или гравера, но мешковаты, неловки, спотыкаются на ровном полу и роняют стулья, мимо которых проходят; у этих лиц резко преобладают уровни *C2* и *D* над уровнем *B*.

Существование подобных индивидуальных качественных различий психомоторики так же давно и хорошо известно, как и то, что в прямой корреляции с этой наличной пропорцией развития отдельных сторон моторики стоит и способность к усвоению новых моторных навыков и умений того или другого качества. Один субъект очень легко и хорошо выучивается мелкой и точной работе, но очень туго осваивает, например, игру на фортепиано; другому легко даются гимнастические и акробатические упражнения на ловкость и трудно — легкоатлетические упражнения или спортивные игры; третьему, даже в рамках одной и той же двигательной области, легко дается, например, соразмерение динамики и качество туше в игре на фортепиано и очень тяжел¹. — беглость, четвертому же — наоборот. Однако делавшиеся до настоящего времени эмпирические попытки, лишенные принципиальной основы, развивались всегда о неоперное разнообразие и пестроту материала. Кажется, что излагаемая здесь теория координационных уровней способна внести в разбираемый вопрос некоторую ясность. Во-первых, несомненно, что та или другая степень развития и тренируемости свойственна не отдельным двигательным актам во всем их многообразии, а целым контингентам движений, составляющим инвентарь того или другого целостного уровня построения. Уровней не так уже много, и дать оценку каждому из них применительно к данному субъекту значительно легче, чем изучать и оценивать каждый отдельный двигательный акт. Во-вторых, более чем вероятно, что даже в пределах

краткого списка уровней построения возможны и характерны не все оттенки и градации их соотношений, а некоторое, совсем небольшое, количество типовых пропорций. Это было бы в полной аналогии с теми конституционными профилями телосложения и характера, которые получили признание в литературе и, несомненно, имеют эвристическую ценность. В-третьих, между изыскиваемыми нами моторными профилями, с одной стороны, и конституциональными — с другой, можно с самого начала ожидать встретить не малые корреляции. Все это, конечно, ставит на очередь вопрос о выработке методов объективной оценки как наличной степени развития тех или иных уровней, так и их податливости к дальнейшему развитию и тренировке.

Глава восьмая

Развитие двигательных навыков

Теория двигательного навыка прошла через ряд последовательных этапов, оказывавших решающее влияние и на практику воспитания всевозможных движений. Согласно раннему взгляду двигательная упражняемость локализовалась в периферическом, скелетно-двигательном аппарате (что справедливо только по отношению к силовому развитию мускулатуры). Вследствие такого взгляда педагоги труда, физической культуры и искусства обращали внимание преимущественно на тренировку периферического мышечно-связочного аппарата. Отсюда вытекала целая система мероприятий, направленных к «разработке» этого аппарата: растягивание связок и сухожилий, массаж мышц, всяческие виды гимнастики массажного характера и назначения и т. д.

Убеждение в периферической локализации двигательных навыков вызывало стремление начинать их выработку как можно раньше, с самого детства, когда процесс окостенения скелета еще далек от завершения, а все ткани растяжимы и податливы. Это приводило к очень многим вредностям и перерасткам.

К XX в. стала уясняться главенствующая роль, которую играет в выработке и запечатлении навыков центральная нервная система. Однако физиология начала века была еще очень далека от представления о решающем значении афферентации в координационном процессе. С оформлением взгляда на двигательный навык как на нечто вырабатывающееся, запечатлевающееся и локализующееся в центральной нервной системе центр внимания был перенесен на *эффекторные системы мозга* и в первую очередь — на изученный ранее кортикальный эффекторный (пирамидный) аппарат. Представление, что при любом двигательном тренинге, будь то гимнастическое упражнение или разучивание фортепианного этюда, упражняются не руки, а мозг, вначале казалось парадоксальным и лишь с трудом проникало в сознание педагогов. Большую поддержку новому взгляду оказала теория условных рефлексов, основные положения которой были как раз в то время (первое десятилетие XX в.) разработаны и опубликованы. Гипотезы, положенные в основу ее теоретических концепций, сами по себе не были новы: они были провозглашены еще психоневрологами-материалистами конца XIX в. во главе с Меунет, но солидная экспериментальная база, подведенная и под них И. П. Павловым, обеспечила им особенную доходчивость и убедительность.

Факту индивидуального прижизненного запечатления следов в центральной нервной системе была придана хотя и предположительная, но конкретная и четкая трактовка *проторения связующих путей в мозгу* в результате многочисленных настоячивых повторений условного сочетания. Впечатляющая сила новых фактов и приданных им теоретических истолкований была так велика, что на теорию условных рефлексов стали возлагаться огромные упования, вплоть до надежды воздвигнуть на ее основе все здание материалистической психологии. Особенно же естественно было применить эту теорию к объяснению гораздо более узкого и частного вопроса о двигательном навыке и его генезе. Само собой напрашивалось сопоставление закрепления условных связей у

животного с запечатлением двигательных умений у человека, того и другого при посредстве многократных повторений и длительного упражнения.

Экстраполяторы теории условных рефлексов прошли мимо ряда глубоких, принципиальных различий между обоими упомянутыми процессами. Их сделало очевидными лишь время, вообще успешно охлаждающее многие увлечения.

Первое капитальное различие в том, что вся постановка эксперимента по выработке условной связи у животного обуславливает его полную пассивность к предъявляемым ему раздражениям. Это хорошо подтверждается хотя бы частым возникновением у подопытных животных сонного торможения, являющегося истинным бичом опытов по условным рефлексам¹. В противоположность этому каждый из этапов выработки двигательного навыка представляет собой не пассивное «отдавание» воздействиям, идущим извне, хотя бы и с собственной проприоцептивной периферии, а активную *психомоторную деятельность*, образующую и внешнее оформление, и самую сущность двигательного упражнения. Эта интенсивная деятельность сооружает двигательный навык в самом деле как своего рода постройку, что оправдывает и заглавный термин всей настоящей книги: «Построение движений».

Во-вторых, гипотеза проторения проводящих путей рисует этот процесс как нечто монотонное, дающее в своем развитии картину лишь часто количественного, гомогенного нарастания. Между тем, как будет показано дальше, формирование двигательного навыка представляет собой целую цепь последовательно сменяющих друг друга фаз разного смысла и качественно различных механизмов. Выработка двигательного навыка есть *смысловое цепное действие*, в котором так же нельзя ни выпускать отдельных смысловых звеньев, ни перемешивать их порядка, как и в любой предмет-

См., например: *Первое И. П.* Двадцатилетний опыт изучения высшей нервной деятельности — 1928. — С. 107, 139, 225 и т. д.

ной цепи из уровня *D*. Сам двигательный навык — отчет сложная структура: в нем всегда имеются ведущий и фоновые уровни, ведущие и вспомогательные звенья, фоны в собственном смысле слова, автоматизмы и перешифровки разных рангов и т. д. В не меньшей мере насыщен чисто качественной структурной сложностью и процесс его формирования. Истолкование образования двигательного навыка как проторения условных связей принесло ощутительный практический вред главным образом тем, что оно оправдывало монотонное, пассивное заучивание, «зазубривание», в котором основное ударение делалось на количестве выполненных повторений. Крайне низкий полезный эффект такого метода вскоре заставил критически отнестись к нему и подвергнуть его решительной переоценке.

Проторительная теория выработки двигательного навыка содержит еще одну неясность. Теоретики условных рефлексов приняли как нечто само собой разумеющееся крайнюю *медленность* запечатления условных связей, с чем уже дальше легко и естественно было сопоставить и длительные сроки, потребные для двигательного упражнения. Вся эта длительность возлагалась на крайне низкие временные коэффициенты восприимчивости центральной нервной системы, по крайней мере, именно такими проявляли они себя в условнорефлекторных опытах над собакой. Между тем эти многодневные длительности, если отводить их мысленно на один монотонный процесс постепенного проторения одного или нескольких путей в центральной нервной системе, совершенно не согласуются ни с фактами запечатления *небезразличных* восприятий с одного раза (как у собаки, так тем более у человека), ни со всеми без изъятия физиологическими скоростными показателями нервной системы согласно рисуящими ее как молниеносно быстро работающий биоэлектрический прибор. Дело выглядит совершенно иначе, если на место подобного однородного запечатления в том или другом центре поставить то, что имеется в действительности: *многофазное активное строительство* в сенсомотор-

ных *уровневых системах* мозга. Это ставит весь вопрос в совершенно иную плоскость.

Как это следует из содержания настоящей книги, двигательный навык не может представлять собой стойкой *эффекторной формулы* какого-либо последования нервно-мышечных импульсов. Выше было установлено, что такой стандартной формулы и не может образоваться в центральной нервной системе, так как вся сущность двигательной координации как раз состоит в непрерывном приложении эффекторных импульсов к внешним условиям, все время меняющимся и требующим неуспынной слежки за ними со стороны рецепторики. Уровень синергии *B*, который мог бы обмануть нас своей склонностью к стандартным штампам, как раз умеет выдерживать эти стойкие штампы только благодаря своей исключительной сенсорной оснащенности, т. е. благодаря свойственной ему высокой технике прикладывания от раза к разу своих активных импульсов к изменчивым внешним и реактивным силам. Движения уровня синергии стандартны только благодаря тому, что его эффекторные импульсации не обладают стандартностью.

Столь же невозможно ожидать в основе двигательного навыка какого бы то ни было стандарта *сензорных коррекций*, обладающих именно в силу их приспособительности ничуть не меньшей изменчивостью, чем эффекторные импульсы. Ни эффекторные, ни рецепторные, ни какие-либо еще центры и системы мозга не могут являться пунктами для локализации в них *стойких* проторенных или запечатленных другим образом следов двигательного навыка.

Заметим, что если бы упражнение или тренировка навыка сводились к проторению или продолбливанию чего бы то ни было на основе бесчисленных повторений, то это не могло бы привести ровно ни к чему хорошему, так как именно в процессе развития навыка, когда движения неправильны и неовки, затверживать-то и нечего. Это обстоятельство еще с одной стороны подчеркивает ошибочность «проторительных» концепций. Диалектика развития навыка как раз и со-

стоит в том, что там, где есть *развитие*, там, значит, каждое следующее исполнение лучше предыдущего, т. е. *не повторяет* его; поэтому упражнен ие есть, в сущности, *повторение* без *повторения*. Разгадка этого кажущегося парадокса в том, что упражнение представляет собой *не повторение и не проторение движения*, а его построение. Правильно проводимое упражнение повторяет раз за разом *не средство, используемое для решения* данной двигательной задачи, а *процесс решения этой задачи*, от раза к разу изменяя и улучшая средства.

По наиболее строгому возможному в настоящее время определению *двигательный навык есть координационная структура, представляющая собой освоенное умение решать тот или иной вид двигательной задачи*. Так как двигательные задачи могут обладать самым разнообразным смысловым содержанием, то, очевидно, навык можно выработать применительно к любому виду произвольного двигательного процесса, независимо от его уровней высоты и состава.

Из предложенного определения выявляются и две фактические причины, обуславливающие длительность сроков выработки двигательного навыка. Одна из них сказывается главным образом в первом, начальном периоде работы над навыком, другая — преимущественно в ее второй половине.

Во-первых, процесс, протекающий в центральной нервной системе по ходу упражнения и выработки навыка, представляет собой полные активности искания все более и более адекватных во всех отношениях решений осваиваемой двигательной задачи. Центральная нервная система деятельно проходит через большое количество проб, ошибок, прилаживаний, приспособительных модуляций и т. п., которые, в конце концов, обеспечивают ей наиболее правильное, быстрое, рациональное и при этом находчивое осуществление искоемых решений. В этих исканиях оптимальных решений, бесспорно, заключается одна из причин продолжительности работы над двигательным навыком. В особенности это относится к ее ранним фазам, до завершения автоматизации,

представляющей в своем роде окончание последних корректур движения и спуск его в печатную машину.

Во-вторых, сама задача, а тем более фон общей обстановки, на котором эта задача выступает в качестве фигуры, так же мало стандартна, как и те движения, координации и коррекции, которые образуют ее адекватные решения. Осваивая новый для нее вид задач, центральная нервная система вбирает и впитывает в себя целые потоки реценций, характерных для задач этого вида и определяющих потребные для них сенсорные коррекции. По ходу этого осваивания центральная нервная система практически сталкивается с широким разнообразием вариантов задачи. Применяя выражение, вошедшее уже в обиход у психологов, можно бы сказать, что по ходу формирования навыка совершается обыгрывание всех этих вариантов. Неоспоримо, что чем полнее и надежнее освоен двигательный навык, тем шире круг вариантов и осложнений задачи, которые не приводят к дезориентации и деавтоматизации и для решения которых субъект находит у себя адекватные координационные ресурсы.

Если в начальных фазах работы над навыком речь шла о произвольном (сознательном и бессознательном) варьировании *решений* двигательной задачи, то в процессе его последующей отделки и шлифовки все больше внимания уделяется не зависящим от субъекта вариациям *самой задачи* и ее обстановки. «Обыгрывание» всего их разнообразия, конечно, требует времени.

Итак, на месте однообразного прототипа перед нами сложный многофазный процесс, что уже неоднократно отмечалось теоретиками-педагогами, хотя и без детализации. Последовательно проходимые фазы развития двигательного навыка уже сейчас могут быть с достаточной уверенностью выделены на основе имеющихся наблюдений. Их реальное существование хорошо подтверждается и встречаемыми в клинике избирательными выпадениями по каждой из них в отдельности. Не требуется оговаривать, что такое вычленение качественно своеобразных фаз развития ведет к извещ-

ной схематизации. Границы и переходы между ними обладают в действительности некоторой расплывчатостью: между отдельными фазами нельзя установить ни резких временных границ, ни стойкой хронологической последовательности. Нередко наблюдаются наложения краями одной фазы на другую, «внахлестку», или даже сосуществование разных фаз в одном интервале времени. Здесь имеет место *не столько хронологическая, сколько каузальная последовательность*, но зато эта последняя соблюдается очень строго.

Весь длительный процесс построения двигательного навыка целесообразно разбить на два периода, границей между которыми является завершение фактической разверстки компонент строящегося движения по фоновым уровням и начало освоения последних этих компонент и всей совместной уровневой работы по реализации данного движения.

Первый период включает: 1) установление ведущего уровня, 2) определение двигательного состава движения, 3) выявление адекватных коррекций для всех деталей и компонент движения, характера и степени точности, требующихся от этих коррекций, и номенклатуры отвечающих им фоновых уровней. Четвертая фаза этого периода есть фактическое переключение фоновых коррекций в соответственные низовые уровни, т. е. процесс *автоматизации*, как мы определяли ее выше.

Характерной чертой всех процессов, развертывающихся на протяжении *первого периода*, является установление тех наиболее ответственных сторон и свойств каждой детали двигательного акта, к которым предъявляется особенная коррекционная взыскательность. Именно этим определяется, каковы должны быть качества тех коррекций, которым под силу обеспечить требуемую в интересах всего движения точность и стабильность этой детали, т. е. отсюда и начинается упомянутая выше фоновая разверстка. Параллельно выявлению этих ответственных сторон вычленяются, разумеется, и те, к которым тот или другой уровень относится с достаточным индифферентизмом, для того, чтобы допустить

и отношении их большую или меньшую степень вариативности. Таким образом, в этом периоде построения определяются как те черты двигательного акта, по отношению к которым смысл двигательной задачи требует выдерживания на высокой мере и на определенных качественных характеристиках *точности и стандартности*, так и те, которые могут быть предоставлены на волю вариативности либо чисто случайного, либо приспособительного порядка.

Второй период построения навыка можно назвать периодом *стабилизации*. В этом периоде: 1) совершается освоение фоновыми уровнями компонент двигательного состава, переклоченных в них в порядке автоматизации, и, что представляет, может быть, наибольшие трудности, *срабатывание* отдельных фоновых уровней с ведущим и между собой; 2) завершается та сторона автоматизационного процесса, которую следует обозначить как *стандартизацию* двигательного состава и его компонент и, наконец, 3) осуществляется собственно *стабилизация* двигательного акта — укрепление устойчивости его сторон и деталей против *сбиваемости*.

Самое существенное из того, что совершается с двигательным навыком во втором периоде его построения, это расширение того диапазона внешних и внутренних условий, в границах которого реализация навыка не испытывает опасности быть сбитой. Если в начале этого периода осваиваемое движение и может иногда произвести впечатление безукоризненного выполнения, то только до тех пор, пока оно течет под стеклянным колпаком. Но тем не менее и при очень далеко продвинутой координационной упражненности: 1) разные виды и качества сбивающих воздействий сохраняют значительную разницу в степени своей эффективности по отношению к различным фоновым компонентам, 2) разные элементы и стороны двигательного акта остаются в очень разной степени терпимыми к внесению в них вариативных изменений того или другого размаха и качества, так ^и даже при очень глубоко упроченном и стабилизированном навыке всегда остаются опасные для отдельных его сто-

рон влияния и сдвиги, способные внести в них деавтоматизацию. Об этих избирательных свойствах различных сбивающих воздействий речь будет в гл. IX.

Приступая к последовательному по фазному анализу построения двигательного навыка, оговорим, что этот анализ будет касаться освоения навыка взрослым индивидом. То, что могло быть высказано по вопросу о генезе двигательных координации в детском возрасте, было изложено в гл. VII; там, где это понадобится, и в настоящей главе будут соответствующие примечания.

Присущее каждому из уровней построения физиологическое своеобразие проявляется и в различиях их свойств в процессах формирования навыков. Собранные по этой линии материалы наблюдений будут приводиться попутно с характеристиками соответствующих фаз.

Можно сказать с уверенностью, что каждый двигательный навык представляет собой *многоуровневую структуру*. Только самые элементарные движения могут укладываться со всеми их коррекциями в рамки одного ведущего уровня, но по таким простейшим формам движений не возникает и нужды в выработке навыков посредством упражнения. Очевидно, такая многоуровневая структура, как целостный координированный двигательный навык с его ведущим и фоновыми уровнями, каждый из которых правильно выполняет свою роль и обеспечивает наилучшее корригирование движения в своей специфической области, не может возникнуть сразу. Первые попытки осуществления незнакомого движения, эмбрионы будущего навыка, строятся *как одноуровневые акты*, если только не найдут к своим услугам с первых же шагов старых, ранее выработанных и сохраненных памятью фонов. Однако, если обучающийся и обладает в какой-то мере этими готовыми подходящими фонами, то вначале он обычно не умеет вызвать их к действию и использовать в новой комбинации. Ему все равно приходится на этих

первых шагах проводить все движения почти целиком под контролем и коррекциями ведущего уровня.

Ни один из уровней построения не располагает, разумеется, абсолютно полным и всесторонним ассортиментом сенсорных качеств и коррекций, какие могут потребоваться для полноценного выполнения любого движения. Вследствие этого движение ведется вначале при посредстве *суррогатных коррекций*, похожих на временные деревянные леса, с помощью которых в дальнейшем будет воздвигаться каменная постройка. Дифференциацией, достаточной для возможности построения новых двигательных комбинаций ад-гос, обладают во всей центральной нервной системе одни только кортикальные сензомоторные системы в уровневых обозначениях C2 и выше. Кора полушарий обладает наиболее развитыми связями с сенсорными полями всех родов оружия. Она одна в состоянии отозваться адекватной двигательной реакцией на новые, незнакомые раздражения. Конечно, нагрузка, ложащаяся на кору в начале освоения навыка, вынуждает ее брать на себя малосвойственные ей двигательные задачи. Если, например, осваиваемое движение есть какое-нибудь незнакомое сложное трудовое движение, вроде косьбы, то нужные для ее *ведущих* коррекций сенсорные системы с ярким преобладанием в их составе зрительной и вестибулярной слагающих имеют свои проекции в коре полушарий. Мышечно-суставная же, проприоцептивная чувствительность отражена в коре слабо, и ведущий уровень косьбы гораздо более мощное в корригировании положений частей тела и их реактивных взаимодействий, нежели ниже лежащие, субкортикальные уровни построения.

Постепенно овладевая навыком, центральная нервная система находит возможность передоверить фоновые коррекции движения соответственным фоновым уровням построения, тем, которые лучше всего приспособлены по качеству их афферентаций к осуществлению этих именно коррекций. Так, например, при выработке навыка метательного движения та общая синергия, которая включает поворот все-

го тела на ногах, винтообразный поворот туловища и головы и широкое размашистое движение плечевого поиска и руки, первоначально корректируется кортикальными системами, как уже сказано, слабо связанными с проприоцепторикой. Когда в результате упражнения эта синергия перенимается таламо-паллидарным уровнем, обладающим очень тесной и развитой связью с органами тактильной и проприоцептивной чувствительности, вся координация этой стороны движения становится и более точной, и более сильной, легкой, экономичной. В результате: 1) ведущий уровень разгружается от побочной работы; 2) координации названной синергии уходят из поля сознания и 3) при этом подвергаются не только количественному улучшению, но и глубоким качественным изменениям, так как переключаются на наиболее адекватные им качества сенсорных коррекций.

Первоначальная по смыслу фаза выработки двигательного навыка — *определение его ведущего уровня* — фактически не отнимает времени, так как вопрос является всегда уже предпрешенным. Если и не все, то, во всяком случае, решительно преобладающая часть тех умений, какие в состоянии самостоятельно вести у человека уровень пространственного поля С, хотя бы в основных чертах усвоен им *еui* J во времена детства и отрочества. Среди задач, с которыми человек впервые сталкивается уже взрослым, настолько резко преобладают задачи, изопотенциальные с его уровнем действий D, и вдобавок в кругу заполняющих его жизнь двигательных актов в такой степени преобладают действия из этого же уровня, что последний твердо держит у взрослого монополию на ведущее положение по отношению ко всем вновь прививаемым двигательным навыкам. Как показывают наблюдения, это случается даже тогда, когда подлежащий освоению двигательный акт явно относится к компетенции уровня С, например, если это какая-нибудь незнакомая форма локомоции, вроде плавания или езды на велосипеде. Нужно заметить, что в противоположность легко и быстро совершаемым переключениям фоновых уровней *переключение ведущего уровня* уже выработанного навыка есть всегда трудно даю-

щийся и болезненно протекающий процесс. Так как, овладев при посредничестве уровня действий D изучаемой локомоцией, центральная нервная система на каком-то этапе будет неминуемо вынуждена переключить ее на ведущее управление адекватного ей подуровня С/, то указанное обстоятельство обрекает ее на очень много лишних трудностей. Несомненно, этим и объясняется, насколько быстрее и легче происходит овладение подобными локомоциями у ребенка или отрока, которые сразу ставят их на управление подуровня С/.

Несоответствия обратного типа имеют место у детей или у высших животных, не имеющих в своем распоряжении работоспособного уровня D, при попытках освоения навыка действия из этого уровня. Сюда относятся, например, неудачи, постигающие обезьян в их подражательных действиях, если дело идет о задачах, недоступных им в смысловом отношении, но привлекающих их своей внешней манипуляционной стороной.

Вторая фаза освоения навыка, с которой обычно прямо и начинается работа над последним, была выше обозначена как *определение двигательного состава* этого навыка. Напомним, что под двигательным составом движений уровня пространственного поля С подразумевается все то, что относится к форме и внешнему характеру движения, по другой терминологии — к его *конструкции*. Это совокупность того, что было объединено под символом «Мот» на схеме рефлекторного кольца в гл. П. В спортивно-гимнастических навыках двигательный состав более или менее точно совпадает с тем, что называют стилем этих движений (например, разновидности плавания — кроль, брасс и баттерфляй, разновидности прыжка в высоту — хорейн и восточноамериканский и т. п.). В сложных цепных актах из уровня D к двигательному составу относятся как структура отдельных движений-звеньев, так и самые перечни этих звеньев.

Фаза определения двигательного состава навыка в большинстве случаев также не принадлежит к числу трудоемких. Очень многие действия (например, велосипедную езду или

управление автомобилем) каждый наблюдал сотни раз с самого детства. Для других навыков к услугам обучающегося часто имеется объяснительный показ со стороны педагога. Тем не менее по ходу этой фазы может уже встретиться ряд затруднений, требующих активного преодоления. Так бывает, прежде всего, когда сложный (например ремесленный) навык осваивается самоучкой — напомним о ситуации Робинзона. Далее, во многих как спортивно-гимнастических, так и профессиональных навыках встречаются очень важные детали двигательного состава, в то же время настолько быстрые, что их трудно разглядеть и на множестве показов. Многие детали движения, даже хорошо рассмотренные со стороны, нелегко верно воспроизвести на себе самом. Однако, кроме этой чисто подражательной стороны, фаза определения двигательного состава обязательно обладает и активно творческим содержанием — все равно, осознанно и произвольно оно или нет. Речь идет о протекающей в этой фазе *индивидуальной пригонке особенностей двигательного состава* к личным свойствам упражняющегося: телосложению, физиологическим характеристикам моторной периферии, координационному профилю и т. п. Излишне подчеркивать, что в этой фазе открывается широкий простор для сознательного рационализаторского и изобретательского творчества, блестяще продемонстрированного на трудовом фронте советскими стахановцами.

Каждому хорошо знакома иллюзия, возникающая при виде искусных профессиональных движений опытного мастера и дающая впечатление, что эти действия было бы совсем легко воспроизвести самому с первого же раза. Производимое перед нашими глазами и представляемое нами себе с полной ясностью во всех деталях двигательного состава действие кажется нам настолько простым и очевидным, что воспринимается как нечто безусловно доступное для повторения. Дети, не обладающие еще «задерживающими центра-

III», развитыми у взрослых, особенно легко попадают на удочку этой иллюзии, с самонадеянностью подражательно принимаясь за рискованные манипуляции, вроде бритья, кройки или разжигания примуса. Каждый, кто пробовал проверить на деле впечатление, создаваемое этой иллюзией, несомненно, помнит своеобразное и яркое ощущение обескураживающего недоумения, возникающее при этом за счет неожиданно большой непослушности и неловкости своей руки¹.

Причина этого явления ясна. Каждым на протяжении всей жизни накоплены для правой руки огромные запасы навыков и умений; и действовать этой руке постоянно приходится, не выходя из круга этих привычных умений. Каждое из них, правда, обуславливает некоторую полосу генерализации, возможности обобщенного переноса на сходные двигательные процессы, но это отнюдь не означает всеобщего координационного развития. Неизменно послушная в рамках своего обычного, постоянного круга действий, рука начинает обманчиво казаться нам послушной безотносительно и вообще, чего нет на самом деле.

Суть в том, что сколь угодно ясный образ двигательного состава движения не дает еще никакого понятия *о коррекциях и перешифровках*, необходимых для его осуществления. Разница между второй фазой (определением двигательного состава) и третьей, которая неминуемым образом должна следовать за ней, как раз и заключается в том, что во второй фазе учащийся устанавливал, как будто *выглядеть* (снаружи) те движения, из которых складается изучаемый им навык: в третьей фазе он доходит до того, как должны *ощущаться* (изнутри) и сами эти движения, и управляющие ими сенсорные коррекции. Наступающую фазу следует обозначить, таким образом, как *фазу выявления потребных сенсорных коррекций*.

¹ Очень легко воспроизвести это ощущение «растерянности» руки таким простым опытом: поставить перед собой и, заслонив правую руку ладонью, картонную или бумажную доску, чтобы видеть ее только в зеркале, нарисовать квадрат и клетку диагоналей внутри него («конверт») или еще что-нибудь в этом роде.

Именно в этой фазе центральная нервная система интенсивно набирает потоки рецепций (проприоцептивных в широком или функциональном смысле термина, см. гл. I), характерных для всего многообразия внешних и внутренних вариаций движения, потоки ощущений, которых не может быть видно ни на ком постороннем. Вполне очевидно, какие преимущества может дать в этой фазе сознательное внимание, сопровождаемое еще критическим анализом каждого выполнения со стороны педагога, по сравнению хотя бы с огромными количествами механических, бездумных повторений.

Фаза выявления сенсорных коррекций есть, бесспорно, самая трудоемкая из всех первоначальных, так сказать, планировочных фаз построения навыка. С первых же шагов попутно с накапливанием всех этих проприоцептивных рецепций начинается и их внутренняя сортировка. Для центральной нервной системы начинает выясняться, на какого рода и качества коррекции имеется спрос в тех или других компонентах двигательного акта. Определив уже, что именно нуждается в корригировании, центральная нервная система доискивается до того, какие сенсорные системы и какие фоновые уровни обладают в своем арсенале наиболее подходящими средствами для этих коррекций. Таким образом, фаза выявления потребных коррекций нечувствительно переходит в *фазу росписи или разверстки сенсорных коррекций по адекватным уровням построения*.

В начале освоения навыка могут возникнуть два существенно разных случая. Как уже сказано, сооружаемое движение обязательно строится вначале как одноуровневое, имея в распоряжении только коррекционные ресурсы своего ведущего уровня. Когда основные, самые существенные из потребных коррекций уже определились, то ведущий уровень либо в состоянии (худо ли, хорошо ли) приблизительно обеспечить эти нужнейшие коррекции, либо он вовсе лишен необходимых качеств для некоторых из них.

В первом случае эти временные «костыли» кортикальных коррекций дают возможность движению кое-как, с трудом, выполняться на суррогатных подпорках, а тем временем в фоновых уровнях успевают подобраться или сформироваться вновь настоящие адекватные фоновые коррекции, о которых речь будет ниже. Так происходит, например, в приводившемся несколько выше случае метательной синергии. В других случаях в ведущем уровне может вовсе не оказаться хотя и вспомогательных, но нужнейших коррекций, отсутствие которых равносильно срыву всего движения. Так бывает, судя по всему, тогда, когда требуемые важнейшие коррекции представляют собой большие мышечные синергии из таламо-паллидарного уровня *B*. Именно так, например, обстоит дело с локомоторными навыками плавания, езды на велосипеде, ходьбы по канату и т. п. В этих случаях ведущий уровень всеохломпий. С вполне обеспечен всеми смысловыми коррекциями, необходимыми для пилотажа движения, но ему недостает владения теми необходимыми синергиями, без которых это движение все равно не осуществимо, хотя они и не относятся ни к пилотажу, ни к конечному смыслу двигательного акта. В случаях этого рода движение вначале всегда просто *не выходит*: учащийся падает вместе с велосипедом или упорно погружается в воду.

Широко известно, что по отношению к движениям указанного типа (это отнюдь не только локомоции) имеется один всеобщий и не знающий изъятий закон. Причины его оставались совершенно загадочными, и только теория сенсорных коррекций оказалась способной дать ему простое и исчерпывающее объяснение. Закон этот состоит, во-первых, в том, что все умения этого рода в какой-то момент обучения постигаются *сразу*, скачком, как по какому-то наитию, а во-вторых, в том, что раз уловленное умение этого рода не утрачивается пожизненно, как бы велик ни был перерыв в его применении и как бы далеко ни зашла количественная растренированность в нем. Освоенное умение держаться на воде, на велосипеде или на канате так же невозможно за-

быть, как и какое-нибудь испытанное хотя бы раз в жизни, но яркое ощущение или впечатление.

Этот внезапный постигающий скачок означает то, что в этот момент вступает в строй выработавшаяся в уровне *В* решающая *фоновая синергетическая коррекция*. Движение не получалось до этого переломного момента именно потому, что для движений этого рода в распоряжении ведущего уровня (ни *С*, ни *Д*) не имеется никаких подходящих коррекций нужного качества, хотя бы и суррогатных. Основной факт, что суть и «секрет» навыков плавания, велосипедной езды и т. п. заключается не в каких-нибудь особенных телодвижениях, а в особом рода ощущениях и коррекциях, объясняется тем, почему эти секреты не удастся растолковать никаким показом (любое движение всегда можно показать) и почему они совершенно и пожизненно незабываемы.

Вопрос о привлечении *фоновых уровней как специалистов* по тем или другим видам и качествам коррекций так или иначе встает во весь рост вслед за фазой выявления коррекционных потребностей¹. Это подводит нас к ответственной из фаз выработки двигательного навыка — *фазе автоматизации*.

Автоматизация двигательного акта есть, по уже дававшееся определению, переключение ряда компонент осваиваемого движения в нижележащие уровни построения, т. е. *переключение ряда координационных коррекций двигательного акта на адекватности нижележащих уровней, являющиеся наиболее эффективными для этих именно коррекций*. Такое определение автоматизации, в особенности его подчеркнутой часть, кажется нам наиболее конкретным из всех дававшихся до настоящего времени определений этого процесса и

¹ Мы относим к *ведущим* коррекциям, смысловое содержание которых определяет и требуемый ведущий уровень построения, те коррекции, которые обуславливают смысловой успех или неуспех решения двигательной задачи в ее целом. Однако не все коррекции, осуществляемые ведущим уровнем, обязаны являться и ведущими коррекциями. Если только в ведущем уровне имеются нужные для фоновой отделки движения сенсорные качества, то он же может, наряду с нижележащими собратьями, оказаться в той или иной мере загруженным и фоновой работой.

притом вполне вяжущимся со всеми реально наблюдаемыми случаями автоматизации. Автоматизация движения может состоять как в использовании готовых фонов (собственно фонов или же подходящих автоматизмов, выработанных ранее для другого навыка), так и в выработке специальных фоновых автоматизмов. Оба термина будут расшифрованы ниже.

Хорошо известный факт, что автоматизированные компоненты движений уходят из поля сознания, приводит к важному обобщению, согласно которому *в каждом данном двигательном отправлении осознается только состав его ведущего уровня*, какова бы ни была абсолютная высота последнего. Если, в частности, ведущим уровнем является наивысшая уровневая группа *Е*, например, если данное действие есть письмо на машинке поддиктовку, то бессознательными становятся не только все фоновые симультанные компоненты из *Д*, *С* и *В* (сопровождающие печатание значащих букв текста), но и сукцессивные элементы смысловой цепи действий, являющиеся в моменты их выполнения вполне самостоятельными движениями-автоматизмами и на уровне *Д* например движения перевода строки. Если ведущий уровень относится вообще к самым высоким, то бессознательно текущие сукцессивные фоновые цепи могут в некоторых случаях оказываться очень сложными по составу и длительным по времени. Они часто называются в подобных проявлениях *машинальными действиями* и в патологических случаях могут иной раз затягиваться даже на несколько суток (так называемые истерические футги).

Граница между произвольными и произвольными движениями отнюдь не совпадает с границей между движениями сознательными и бессознательными. Если говорить только о ведущих уровнях движений (поскольку технические фоны бессознательны, как общее правило), то эти ведущие уровни всегда осознаются, но при этом могут обуславливать и произвольные, и произвольные движения. Судя по всему, движения, связанные с кортикальными системами (уровни *С2* и выше), в норме всегда произвольны; в уровне *С1* есть уже некоторый процент произвольных движений, в уров-

не *Вих* чрезвычайно много, а в уровне *А*, наконец, произволен уже почти весь его контингент. Полная потеря произвольных движений при пирамидных параличах еще не дает, конечно, права на огульное отождествление в норме пирамидного аппарата с произвольным, а экстрапирамидного — с непроизвольным моториумом, так как в этом патологическом случае имеются очень сложные сдвиги по сравнению с нормой, связанные и с изменениями в «пусковых механизмах» движений, и с перемнами во взаимоотношениях большого с окружающей ситуацией, и т. д., что в целом крайне осложняет весь вопрос.

Технические фоны движений встречались нам по ходу этого изложения в двух видах, которые можно обозначить как *собственно фоны* и *автоматизмы*. Собственно фонами мы называем такие компоненты движения, которые при других ситуациях могут встречаться как *самостоятельные движения на соответственных низовых уровнях* в роли ведущих, т. е. движения, имеющиеся в контингенте данного низового уровня и могущие найти в афферентации этого уровня мотивы к образованию и экфории. Компоненты движения, создаваемые ведущим уровнем построения, наслаиваются, или, по образному выражению Graham Brown, «накладываются», на эти фоны в собственном смысле, разумеется, управляя ими по-своему, но не создавая в фоновом уровне никаких существование новых двигательных комбинаций. Примерами фонов этой категории могут служить применение бега в качестве *разбега* при прыжках в длину или высоту, участие *ходьбы* в актах сева, косьбы, подметания и т. п. или использование теннисистом на корте всевозможных видов стояния и локомотий в стрийальном подуровне *С1* как фонов для основной ведущей координации в пирамидном подуровне *С2* — движений ракетки¹.

¹ Мы уже указывали выше (см. гл. III), что подобные самостоятельные фоны самостоятельны только по генезу, в то время как их фактическое оформление существенно видоизменяется под воздействием возглавляющего их ведущего уровня.

Природа *автоматизмов* сложнее. Автоматизмы — это те координации, реализуемые на низовых уровнях, которые не содержатся сами по себе в двигательных контингентах этих уровней, *не имеют в них мотивов к возникновению и экфории*, а получают эти мотивы от вышележащих уровней. Везде, где удается проследить генез автоматизмов, они оказываются приобретенными прижизненно, т. е. прошедшими в какой-то момент через стадию автоматизации. В результате такого прижизненного процесса в контингентах движений различных уровней построения формируются специальные фоновые компоненты, возникающие под координационным воздействием более высоких уровней и только в них встречающиеся в дальнейшем мотивы для экфории. Коротко говоря, *автоматизм есть фоновая координация в уровне N, создаваемая в нем и экфорлируемая вышележащим уровнем Р*. В качестве *Nw* этой алгебраизированной формулировке могут фигурировать очень разнообразные конкретные индексы уровней. Даем примеры¹.

Ведущий уровень Р	Уровень фонового автоматизма N	Движение в ведущем уровне	Фоновый автоматизм
<i>С1</i>	<i>В</i>	Ходьба	Синергии ходьбы
<i>С2</i>	<i>С1 и В</i>	Метание гранаты	Разбег и размах
<i>Д</i>	<i>С и В</i>	Работа косца	Ходьба и синергии косьбы
<i>Д</i>	<i>С</i>	Работа рулевого (на автомобиле, лодке и т. п.)	Пространственный навык рулевого управления
<i>Е</i>	<i>Д, С, В</i>	Смысловая речь	Речедвигательная координация

Автоматизмы иногда подразделяют на низшие, обслуживающие ведущий уровень пространственного поля *С*, и *Фоны* из уровня *А* не упоминаются в таблице, поскольку, участвуя в каждом из перечисленных в ней движений, они не дают четких автоматизмов и обусловленным выше смысле этого термина.

вышие, представляющие собой фоновые компоненты для действия уровня *D*, но это подразделение не имеет существенного значения. Конечно, автоматизмы, реализующие специальные навыки в уровне действий *D*, гораздо сложнее и многообразнее «низших»; они могут сами иногда представлять собой довольно сложные структуры, с собственными фонами в еще нижележащих уровнях.

Необходимо сделать здесь примечание, что совершенно ошибочно представлять автоматизмы как стойкие стереотипы. Автоматизмы обладают *приспособительной вариативностью и пластичностью* в полную меру свойств и средств того уровня, на котором они реализуются; существенная особенность их только в том, что они не нуждаются в сознании для своего протекания.

Из самого определения автоматизации вытекает, что она может осуществляться и в действительности осуществляется в *несколько раздельных приемов*, по числу компонент, которые приходится по ходу построения навыка подвергнуть автоматизационному переключению. Эти отдельные автоматизационные переключения могут намного отстоять одни от других по времени, растягиваясь на значительную часть всего процесса упражнения. При этом каждое очередное переключение совершается всегда не постепенно, а четким скачком — новшеством, которое обучающийся вдруг обнаруживает у себя при очередном возобновлении упражнения. Наконец, что точно так же следует из сказанного, автоматизация представляет собой непременно *скачок по качеству* — ив смысле внезапного улучшения в выполнении той или иной стороны движения, и в смысле *изменений в ее структуре* и в характере управляющих ею коррекций. Это последнее обстоятельство объясняется, конечно, тем, что переключение компоненты движения на другой уровень означает перевод ее на управление *другой афферентации* со всеми присущими ей качественными оттенками точности, вариативности, разграничения между заботливо корригируемыми и индифферентными сторонами и т. д. В частности, очень частый вид

автоматизационного переключения из оснащенных телерцепторами кортикальных уровней в проприоцептивный [уровень синергии В сопровождается широко известным и характерным явлением снятия зрительного контроля. Субъект вдруг обнаруживает, что он может выполнять ту или другую деталь движения не глядя и что обратное включение зрения, наоборот, начинает уже мешать ему и сбивать его.

Ц. В процессе автоматизации компонент двигательного акта усматриваются две последовательно проходимые фазы. Первая из них — фаза переключения, сопровождаемого основной характеристикой автоматизации, уводом компоненты из поля сознания, была описана сейчас. Вторая фаза автоматизационного процесса, заканчивающаяся значительно позже, уже во втором периоде выработки навыка, обозначается нами как *стандартизация* данной компоненты. Стандартизация представляет собой фиксирование и упрочение как двигательного оформления этой компоненты, так и границ и форм допускаемой для нее вариативности. В этой фазе фоновый уровень осваивает тем или другим характеристическим для него физиологическим приемом технику выдерживания требуемой *стойкости неизменяемости* данной стороны движения на фоне изменчивых и сбивающих внешних воздействий. Мы вернемся к подробной обрисовке фазы стандартизации при характеристике второго периода работы над навыком.

Как по отношению к техническим фонам с самостоятельным генезом, так и по отношению к автоматизмам при выработке нового навыка могут встретиться различные случаи.

Требуемые для обслуживания осваиваемого движения *самостоятельные фоны* в большом числе случаев находятся центральной нервной системой готовыми, сохраняемыми памятью в фондах соответствующих уровней. Если слегка погрешить против этимологии, то можно было бы назвать эти хранилища фонов в мозговых уровнях «фонотеками» уровней. Отдавая себе полный отчет в прегрешении перед

языком, мы хотели бы все-таки сохранить это название за отсутствием другого, столь же краткого и выразительного.

Такие вполне или почти готовые фоны для двигательных навыков уровня действий находятся, например, в тех случаях, когда ими являются локомоторные или иные самостоятельные двигательные акты из уровня пространственного поля, как уже сказано, в огромном большинстве осваиваемые еще смолуду. Если, например, речь идет о превращении *бега в разбег* (что, безусловно, не одно и то же), то ведущему уровню *D* или *C2* все же остается только наложить на этот давно знакомый и привычный акт всего несколько приспособительных коррекционных мазков и превратить его самостоятельный характер в фоновый. Возможны, конечно, случаи, когда извлекаемые из низовой «фонотеки» технические фоны нуждаются в значительной пригоночной переработке, и, наконец, случаи, требующие специальной для данного навыка выработки фонов этой категории.

Подобно самостоятельным фонам, и автоматизмы могут найтись в том или другом количестве и степени адекватности в мнестических хранилищах мозга. Так как автоматизмы, по определению, не могут иметь самостоятельного происхождения, то речь может идти только о координациях, выработанных ранее в связи с построением какого-нибудь другого навыка. Здесь, разумеется, возможны все градации, начиная от безукоризненно подходящих автоматизмов и кончая полным отсутствием каких бы то ни было.

Это использование автоматизмов, бывших ранее выработанными для навыка А, в построении вновь формируемого навыка В есть не что иное, как пользующееся широкой известностью, но пока еще мало изученное явление *переноса упражненности по навыку*. Уже давно было обнаружено, что упражнение в каком-нибудь определенном виде двигательной деятельности дает, кроме непосредственного улучшения самих тренировавшихся движений, еще более или менее широкий *генерализованный, или обобщенный, эффект*. Однако ни анализ общих причин этих явлений переноса и генерализа-

ции, ни искания причин той или иной степени иррадиативности разных видов упражнений, ни, наконец, исследование закономерностей, определяющих то, на каких именно двигательных актах с наибольшей яркостью обнаружится эффект переноса, до настоящего времени не имели большого успеха. Была создана теория «идентичных элементов» (*Thorndike*), которая пыталась объяснить явления переноса, но, к сожалению, она оказалась совершенно неспособной к правильному предсказанию фактов, т. е. несостоятельной по существу. Дело затруднялось тем, что иногда движения, очень похожие друг на друга по их двигательным составам, не обнаруживали никакого ощутимого переноса; иногда же, наоборот, движения, чрезвычайно несходные друг с другом (например, движения велосипедной езды и бега на коньках или даже движения фигурного катанья на коньках и стрельбы в цель), обнаруживали перенос в очень большой мере.

Теория сенсорных коррекций оказывается значительно сильнее теории Thorndike в своей способности вскрыть ошибки последней и вернее предсказывать явления переноса и генерализации. Согласно сказанному перенос упражнения обусловливается возможностью использования ранее выработанных для другого навыка автоматизмов, *но автоматизмы — это не движения, а коррекции*: в этом-то и заключается вся разница. Очевидно, у движений опилочки, глажения, извлечения звука контрабасовым смычком под внешне сходным двигательным составом не кроется практически никаких общих коррекций; не дают они и переноса упражненности. Наоборот, во всех случаях, где эмпирика устанавливает факт ощутимого переноса, можно легко обнаружить близкое средство сенсорных коррекций.

Так, например, навыки велосипедной езды и бега на коньках, глубоко не сходные по их двигательному составу, роднит то, что в обоих навыках мы имеем дело с *сохранением динамического равновесия над опорой, не имеющей ширины*. Даже основной принцип корригирования, применяемый в обоих этих навыках, — принцип подъезжания подвижной

опорой под отклонившийся в сторону общий центр тяжести, один и тот же. В таких резко различных по двигательным составам навыках, как фигурное катание на коньках и меткая стрельба, находятся роднящие их между собой важнейшие фоновые коррекции: точность глазомера, уверенная твердость жеста и верное улавливание момента. Очень вероятно, что применяемый многими мальчиками прием «прицеливания» камешком перед его метанием, заключающийся в держании его перед ведущим глазом при сощуренном втором, опирается на своеобразное видоизменение все того же явления переноса навыка в подуровне С2. Хотя сами по себе координации свойственного мальчикам размашистого метательного движения не имеют абсолютно ничего общего с подобным визированием, это последнее имело бы совершенно реальный смысл, если бы метание совершилось прямо перед собой, наподобие толкания бильярдного шара. Поэтому «визирующее» прицеливание можно трактовать как целесообразный сукцессивный элемент приема метания Р (не применяемого в целом из-за его крайней синергетической невыгодности), переключенный в порядке использования переноса в цепь фактической метательной синергии Q.

Под именем переноса упражненности понимается еще и другое, родственное только что описанному явление, которому мы присвоим для различения название *переноса по исполнительному органу*. Под этим подразумевается повышение в результате упражнения в некотором навыке органа А (например, левой руки) упражненности по тому же навыку в другом, не упражнявшемся органе В (например, правой руке). Этот вид переноса будет охарактеризован ниже, при анализе фазы стабилизации навыка.

Различное отношение автоматизмов разных уровней к переносу очень ярко характеризуется фактом резкого сбивающего влияния, какое оказывает при высокоавтоматизированном навыке, например, вынужденная смена привычной рукоятки орудия, черенка инструмента, привычного рейсфедера, ножниц, ручки для письма, словом, укоренив-

шегося приема хватки. Эти компоненты из самых низких уровней в наименьшей степени приспособлены к переносу, в то время как подобные же фоновые компоненты из уровня пространственного поля, например, движения пальцев на клавиатурах пишущих машин разных моделей и марок, в очень высокой мере к нему податливы.

Оборотной стороной переносов по навыку является, как известно, так называемая интерференция, которую мы для отличия от другого описываемого ниже явления обозначим термином «*сукцессивная интерференция*». Соответственно нашей трактовке переноса сукцессивная интерференция есть экфория фонов, или автоматизмов, не созвучных осваиваемому навыку и л либо разбуженных по ошибочным ассоциациям, либо (чаще всего) вовлеченных в экфорию вместе с целым рядом адекватных автоматизмов из того же самого прежнего навыка. Характерная сукцессивная интерференция возникает, например, при управлении рулем гребной лодки, где движения прямо противоположны по направлению привычным движениям управления автомобилем или велосипедом. По наблюдениям Геллерштейна, при обучении летному делу профессиональные шоферы вначале оказываются слишком резкими в движениях, планеристы — слишком размашистыми, бывшие молотобойцы, по выражению инструктирующих, «зажимают управление» и т. д. Все это — интерференционные следы их прежних навыков.

Во всех случаях протекания фазы автоматизации — все равно, связана ли она с выработкой новых фонов и автоматизмов или использует в той или иной мере прежние, — на всем протяжении этой фазы и следующих за ней идет непрерывный процесс *снижения пороговых* сигнальных рецепторных механизмов, которые обеспечивают необходимые сенсорные коррекции. Из самого принципа рефлекторного координационного кольца вытекает, что если предпринятое движение начинает отклоняться от того пути, который соответствует намерениям особи, то это отклонение воспринимается не сразу. Раздражение, которым в данном случае слу-

всем их ансамблем и ведущим уровнем навыка. Необходимо принять в расчет, что всем уровням приходится не только пользоваться сообща единым конечным общим путем каждого мотона, но и крайне ограниченным количеством эффекторных проводящих путей в спинном мозгу. Импульсация всех трех этапов экстрапирамидной системы идет в конечном счете через центробежные тракты группы красного ядра; на эту же линию попадает и значительная часть импульсов премоторной системы, отправляемых из уровня *D*. Пирамидная проекционная система также сообща обслуживает уровни *C2*, *D* и высшую кортикальную группу.

Однако несомненно, что по отношению к каждому более или менее сложному движению главные трудности для совместного срабатывания уровней и основное «узкое место» образуют отнюдь не нервные пути или центры. Гораздо ощутительнее сказывается то, что всем этим потокам импульсаций и кольцевым коррекционным процессам приходится действовать в конце концов на одну и ту же *исполнительную систему*: те же мышцы, те же инертные массы звеньев и те же степени свободы подвижности межзвонковых сочленений. Именно эта необходимость нескольким всадникам пользоваться одним общим конем создает не всегда легко и не сразу преодолеваемые трудности. Их правильное¹ всего обозначить, в отличие от упоминавшихся перед этим, как *симультантные интерференции*. Характерным примером подобной интерференции может послужить противоречие между прочной, цепкой хваткой велосипедного руля, создаваемой в начале освоения навыка рубро-спинальным уровнем², и коррекциями чуткого и гибкого реагирования нажимом на руль в ответ на вестибулярные сигналы, управляемого стрипальным подуровнем *СУ*. Симультантные интерференции возможны, конечно, и между разными исполнительными органами, например, интерференция, возникающая вначале между вырабатывающимися автоматизмами разбега и отталкивания ногой и автоматизмом меткого выткания шеста в упорный ящик при разучивании прыжка с шестом. Иногда

симультантные интерференции преодолеваются настолько безболезненно, что могут пройти и незамеченными. Если же ими создаются более серьезные затруднения, то характерным и точным симптомом их являются известные всем тренерам и педагогам плато, — временные остановки или даже регрессы и разлаживания движения, уже начавшего было удаваться в автоматизированной форме. Эти осложнения всегда преодолимы, но требуют осторожной и вдумчивой тактики. Вне всякого сомнения, временное переключение на другие формы упражнения или даже полная приостановка на тот или другой срок работы над навыком рациональнее, чем попытки преодоления этих интерференций «напролом».

Как показывают наблюдения, нервная система, попавшая в тиски не примиряющихся между собой требований двух разнородных коррекций, если требовать от нее решений данной двигательной задачи во что бы то ни стало, вынуждается этим на *компромиссы качества*. Так бывает, например, когда в противоречие между собой становятся коррекции *меткости* и требования *беглости* при игре на музыкальном инструменте. Если не дать координационным системам возможности искать, пользуясь плато, адекватных выходов из Положения путем или целесообразной пригонки друг к другу противоречащих автоматизмов или путем обходной выработки более взаимно терпимых новых, то возникает риск толкнуть их на путь наименьшего сопротивления, отчего пострадает и меткость, и плавная, ровно звучащая беглость. Существенный вред этих компромиссов качества в том, что переучивание с одной формы на другую, близко сходную с ней, всегда дается трудно, и обычно тем труднее, чем больше сходства между обоими: это напоминает нарастание трудности условных дифференцировок с уменьшением контрастности между подлежащими различению раздражителями. Такие компромиссы очень трудно изживать.

Параллельно и совместно с процессами срабатывания компонент навыка развиваются те процессы, которые мы

объединяем под именем *процессов стандартизации*. Этому понятию нужно дать точное определение.

Двигательный акт протекает в сложно переменчивом силовом поле, создаваемом как внешними, так и реактивными силами. При наличии у органов движения большого избытка степеней свободы эти не подвластные организму силы оказывают на движение всякого рода сбивающие воздействия, борьба с которыми осуществляется при посредстве сенсорных коррекций. Борьба эта протекает в двух направлениях. Каждой детали и стороне движения соответствует определенная степень *допускаемой вариативности*¹, на которую уровни построения идут или в силу своей индифферентности к ней, или же пользуясь ею в целях приспособительности. Борьба со сбивающими воздействиями направляется, во-первых, на то, чтобы не давать движению выходить из рамок допускаемой вариативности, а во-вторых, на то, чтобы всякого рода сбивающие факторы, в том числе и вариации, не оказывали на движение деструктивного действия, не сбивали и не деавтоматизировали его. Первая линия борьбы стремится сохранить движению устойчивые, стандартные формы — это и есть линия стандартизации. Вторая линия стремится придать двигательному процессу сопротивляемость деавтоматизирующим воздействиям; это есть линия борьбы за стабильность, линия *стабилизации*, о которой речь будет ниже.

Мы уже знаем, что стандартность движений не означает стандартности иннервационных формул, или штампов. Везде, где имеет место стандартность той или иной стороны движения, она отнюдь не возникает сама собой: центральная нервная система борется за ее достижение, вырабатывая для этого особые коррекции и автоматизмы. Отсюда уже ясно, что стандартность не может являться самоцелью; она завоевывается там, где это существенно необходимо для обеспечения точности, экономичности или стабильности движения.

¹ Термином «допускаемая вариативность» мы будем в последующем обозначать область вариаций, еще не оказывающих на двигательный акт сбивающего действия.

При этом стандартность движений — скорее исключение, чем правило, она производит впечатление старой, в известных отношениях отживающей формы. Как мы уже видели, для работы высших, наиболее дифференцированных координационных систем мозга характерной является, наоборот, приспособительная вариативность движения. Но стандартизация как удержание движения в границах целесообразной допускаемой вариативности свойственна всем мозговым системам и уровням, только с различными определяющими характеристиками.

Совершенно своеобразно проявляются процессы стандартизации по отношению к движениям со сложными синергетическими автоматизированными фонами из таламо-паллидарного уровня *В*: локомоциям, баллистическим движениям и т. д. В навыках этой группы стандартизация неразрывно сливается с процессами стабилизации в одном общем стремлении к достижению наибольшей слаженности, экономичности и устойчивости движений. В этом направлении нами собран большой экспериментальный материал, дающий более или менее подробный очерк хода выработки навыков названных типов. Здесь наблюдаются, начиная от самых первых шагов осваивания навыка, *три* четко разделяющиеся, качественно различные между собой стадии.

По определению, дававшемуся выше, *координация движений есть преодоление избыточных степеней свободы движущегося органа, иными словами, превращение его в управляемую систему*. Это преодоление может происходить различными путями, что обнаруживается и в рассматриваемом случае. Сопоставление материалов о развитии биодинамических структур ходьбы и бега в детстве с циклограмметрическими данными о беге мировых рекордсменов (работы *Т. Поповой* автора) показало, как по ходу развития двигательного навыка принципиально изменяется отношение организма к многочисленным степеням свободы его двигательного аппарата. Вполне естественным порядком избыток этих степеней свободы и связанная с ним чрезвычайная трудность управления

двигательной периферией ведут к тому, что новичок, впервые осваивающий движение сложной, многозвенной кинематической цепи, например всего тела, инстинктивно стремится *уменьшить число* тех степеней свободы, с которыми ему приходится иметь дело. С этой целью он *фиксирует свои сочленения*, напрягая одновременно все их мышечное оснащение. Этот выход из положения наиболее прост: учащийся устраняет избыточные, мешающие ему степени свободы путем полной фиксации всех степеней, кроме той, которая непосредственно обеспечивает данный отрезок движения. Такое напряжение всех антагонистических мышечных пар цепи, часто сопровождаемое вдобавок широкой иррадиацией (grimасы, высовывание языка и т. д. у упражняющихся детей), действительно, страхует его от развития реактивных сил. Но легко понять, что такой способ координирования крайне не экономичен, дает большой перерасход дорогостоящих статических тетанусов и в связи с этим утомителен. Предпринимаемая учащимся фиксация приводит внешне к той *скованности* или связанности, которые так характерны для движений новичка в синергетических двигательных процессах, в частности, во многих спортивных и гимнастических упражнениях.

По мере постепенного овладения н^у выком и обострения чувствительности коррекционных реле эта стадия сменяется другой. Как было показано в гл. II, каждое звено в сложной кинематической цепи действует в своем движении на окружающие звенья, связанные с ним прямо или косвенно, вызывая в них различного рода усилия отдачи. Каждая активная мышечная сила, приложенная к какой-нибудь точке цепи, вызывает целый ряд сложных реактивных откликов во всех других элементах цепи. Вот эти-то многочисленные реактивные силы, непосредственно зависящие от избытка степеней свободы, и стремится погасить новичок путем фиксации всех своих сочленений. По мере развития навыка он постепенно и очень осторожно *освобождает* одну за другой степени свободы, научаясь бороться с реактивными силами

уже не посредством непрерывной тетанической фиксации, так сказать, заблаговременной и огульной, а путем умения своевременно парировать эти силы *короткими физическими импульсами*, посылаемыми в нужный момент в нужную мышцу. На этой стадии, следовательно, достигается уже значительная экономия по сравнению с первой. В развитии ходьбы и бега эту стадию ребенок проходит на 5—7-м году. Кривые, характеризующие протекание динамических усилий в центрах тяжести ноги и ее звеньев, резко изменяют в связи с этим свой вид. В раннем возрасте, соответствующем первой, фиксационной, стадии, на протяжении полного цикла шага одной ноги в этих кривых имелись только две силовые волны: одна — прямого (вперед), другая — попятного (назад) направления, как и подобает качающейся системе без реактивной динамики. Во второй стадии постепенное высвобождение подвижности приводит к огромному перепроизводству коротких и интенсивных физических волн на ножных силовых кривых как по сравнению с кривыми более раннего возраста, так и сравнительно с кривыми взрослого, где силовые волны представлены в умеренном количестве, имеют резко различные размеры и размещены с очень большой закономерностью. Во второй стадии, очевидно, буквально каждая реактивная сила, возникающая в движущемся органе, вызывает со стороны центральной нервной системы гасящие или уравнивающие импульсы, что придает силовым кривым этой стадии чрезвычайно зазубренный и бесформенный вид.

По ходу дальнейшей выработки двигательного навыка рано или поздно наступает *третья*, еще более совершенная, стадия обращения с реактивными силами: организм выучивается прямо *использовать* их. В таких универсальных навыках, как, например, ходьба, эта последняя стадия достигается всеми людьми без изъятия, а в специальных навыках нередко наблюдается у искусных мастеров спорта или физического труда. Она соответствует полному включению в фоновую работу уровня синергии *B*.

Движение можно построить так, чтобы преобладающая часть сил, возникающих на периферии, не только не шла в ущерб, но в своей основной части содействовала ему. Если центральной нервной системе удастся найти пути к такому использованию реактивных сил, то это создаст очень большую экономию мышечной активности. Кроме того, движение, которому предоставляется течь так, как этого требует сама биомеханическая природа движущегося органа, оказывается особенно плавным, легким и хорошо оформленным.

Для многих движений, в особенности для движений со значительными амплитудами и смещениями больших инертных масс, как локомоции (бег) или баллистические движения (работа молотом, метание и т. п.), организм находит такие формы, при которых малейшее отклонение от правильной траектории тотчас же вызывает возникновение реактивных сил, стремящихся вернуть орган обратно на покинутую траекторию. Две взаимно противоположные структуры движений: со сбивающими реактивностями и с реактивностями, поддерживающими движение и содействующими его устойчивости, дают очень близкую аналогию с явлениями, известными в элементарной механике под названиями неустойчивого и устойчивого равновесия. Либо реактивные силы, вытекающие из предпринятой формы движения, будут сбивать его, и движение сможет совершиться только при условии активного заглушения этих реактивностей (ребенок-бегун, неопытный конькобежец), либо же реактивные силы будут сами содействовать движению, охранять его от отклонений, восстанавливать равновесие в самые начальные моменты нарушения. Во втором случае траекторию движения, обладающего указанными свойствами, можно сравнить с желобком, по которому движущийся орган катится, как шарик по канавке, и закраины которого сейчас же возвращают его в канавку, как только он начнет отклоняться от нее на тот или иной из наклонных бортов желобка. Роль, которую в направляющем желобке играют наклонные борта, в движении с устойчивой структурой берут на себя реактивные (ино-

гда и внешние) силы. Такое движение обладает, следовательно, *динамической устойчивостью*. Если подобная динамически устойчивая форма найдена и освоена, то, очевидно, на протяжении больших отрезков движения не только не будет нужды в гашении реактивных сил тоническим или физическим путем, но, наоборот, создастся очень сильная разгрузка в части эффекторных импульсов и активных мышечных усилий, поскольку последние в немалой мере окажутся замененными этими реактивными силами.

Большей частью человек, достигший в каком-нибудь навыке этой стадии развития, субъективно воспринимает только одну сторону дела, не умея и в ней отдать себе ясный отчет. Не ощущая тех реактивных сил, которые помогают ему двигаться и которыми он научился пользоваться, субъект воспринимает только свои активные мышечные усилия, которых он теперь умеет тратить значительно меньше. Кроме того, умение и решимость использовать преобладающую часть реактивных сил ведут к тому, что мастер полностью *высвобождает все степени свободы* своих кинематических цепей, т. е. проприоцептивно ощущает снятие фиксации во всех своих сочленениях. Это умение столь полно использовать реактивные силы и связанная с этим максимальная экономичность в расходовании активной мышечной работы субъективно воспринимаются мастерами как некоторое *расслабление*. Конечно, это «расслабление», представляющее собой не что иное, как высшую форму координации в уровне синергии, является расслаблением инактивной, а не активной мускулатуры и, следовательно, не имеет ничего общего с астенией.

Нам довелось наблюдать динамически устойчивые формы обрисованного типа на целом ряде движений или их фоновых компонент. Неоспоримые динамически устойчивые структуры встречаются уже среди двигательных актов самого низшего уровня А — это выполняемые им *быстрые вибрации*, текущие по типу вынужденных упругих колебаний (рис. 84). Очень ясно проявляются эти формы, далее, в движениях

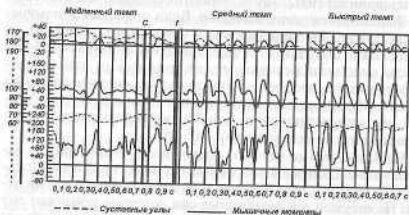


Рис. 84. Кривые изменения суставных углов и мышечных силовых моментов. Сверху вниз: запястная, локтевая и плечевая мускулатура в трех эпизодах непрерывно убыстряющегося октавного вибрато у пианиста с мировым именем. На рисунке ясно видно, что при медленном и среднем темпах правильные ритмичные движения (изменения углов) совершаются при очень иррегулярном течении постоющей, а в особенности плечевой кривой силовых мышечных моментов, обусловленной непрерывной борьбой с аритмическими реактивными силами многозвучного мимикрирования. Только в наивысшем темпе (около 7 уд/с) эта иррегулярность мышечных усилий — отсутствующая в небольшой степени — от недостаточной для этого скорости темпа сменяется частотой, главным же образом — вследствие перехода структуры движения в динамически устойчивую форму вынужденных упругих колебаний (работавший И. С. Попов, Муз.-пед. лаборатория, 1927 г.)

руки с молотком при рубке зубилом (см. рис. 6 и 63). При анализе этого процесса мы имели возможность проследить с чрезвычайной ясностью на большом материале, как вариативность той или другой траектории (как у одного и того же работника, так и у разных лиц между собой) убывает в точном параллелизме с увеличением скорости или массы звена, движущегося по этой траектории. Самыми неизменными, почти не варьирующими у всех испытуемых, оказались ударные части траекторий головки молотка и центра тяжести всей руки с молотком; наоборот, самыми вариативными и нестойкими показали себя траектории медленно движущихся и не несущих каких-либо масс центров локтевого и плечевого сочленений. В подобных быстрых баллистических дви-

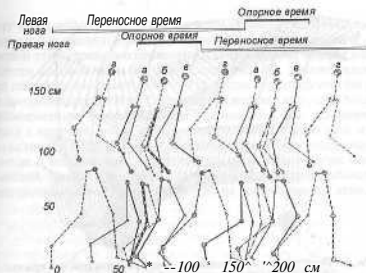


Рис. 85. Главные динамические фазы бега неумелого исполнителя (человека средней профессии, средних лет).

а — период опорных толчков, г — полетная фаза. Ср. с бегом рекордсмена — рис. 50 (работавший, НТК НКПС, 1926 г.)

жениях мера свободы подвижности движущегося органа оказывается различной при анализе ее с кинематической и с динамической точки зрения. Кинематически конечности в характеризуемых движениях мастеров максимально освобождены, все степени свободы в них развязаны: динамически же их движения имеют вынужденный характер, прикрепляющий их к совершенно определенным траекториям, т. е. сохраняющий для них всего одну степень свободы. Таким образом, в динамически устойчивых движениях все степени свободы, кроме одной, связываются реактивными силами, присущими данной структуре движения. Ясно — поскольку реактивные силы не подвластны центральной нервной системе и не имеют в своей основе эффекторных импульсов, — что коррекция движения посредством использования реактивных сил совершается без активных коррекционных импульсов, т. е. что движения с такой структурой экономичны не только для мышц и для нервной эффекторики, но и для централь-

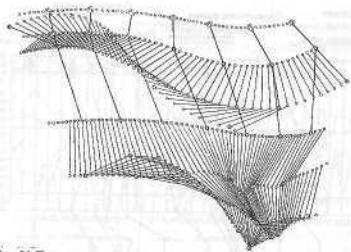


Рис. 86. Последовательные положения левой стороны тела при прыжке в длину с разбега лица, не умеющего прыгать

Ср. с движениями мастера — рис. 56. Обращает на себя внимание и перед началом толчка на полусогнутую в колене ногу, что чрезвычайно ослабляет отталкивание от планки, и почти горизонтальный путь тазобедренного сочленения и головы вслед за окончанием толчка, в резком отличии от движений мастера (Л. Осипов, ЦНИИФК, 1940)

но-нервных координационных механизмов, опирающихся на рецепторную. Попад в динамически устойчивую колею, движение катится по ней, как поезд по рельсам, и с его уровня водителя снимается обязанность управлять рулем.

Яркий образец широкого использования реактивных сил дает биодинамика бега мирового рекордсмена J. Ladoucheque, движения которого мы имели возможность заснять и изучить в 1934 г. Впрочем, и у менее замечательных бегунов встречаются очень выразительные проявления целесообразного использования реактивной динамики. Вот один характерный пример.

Когда маховая (переносная) нога уже вынесена вперед, а коленный угол ее близок к прямому, наступает окончательный отрыв опорной ноги от земли (рис. 87). Этот отрыв совершается отнюдь не за счет мускулатуры самой опорной ноги, а совсем иным образом. На всем протяжении опорного интервала опорная нога развивала усилия, направленные вверх, и сообщала общему центру тяжести тела ускорения, направленные вначале вверх, а под конец опорного времени — вверх и вперед. Но в самый последний мо-

мент в маховой ноге возникает активный мышечный импульс, направленный книзу, т. е. резкое энергичное напряжение мышц — спинальных тазобедренного сочленения. Этот импульс создает в центре тяжести маховой ноги большую силу (рис. 88), достигающую при беге со средней скоростью 40—60 кг, а при спринтерском беге иногда превышающую 100 кг. Сила, направленная книзу, обуславливает одновременное возникновение реактивной силы, направленной вверх и приложенной к общему центру тяжести всего тела за вычетом активной ноги, и уже эта последняя сила вздергивает вверх туловище и вторую ногу, окончившую исполнение своих опорных функций. Однако реактивная динамика, созданная сплывательным импульсом маховой ноги, еще далеко не исчерпывается этим.



Рис. 87. Фаза бега, соответствующая реактивному отрыву опорной стопы от земли.

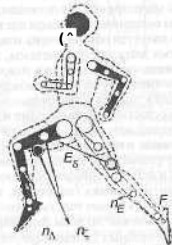


Рис. 88. Схема усилий в центрах тяжести нижних звеньев и центрах ног в фазе рис. 87.

Хорошо видно напряжение сплывателей маховой ноги (Ж. Ладумег, работа 1934—1939 гг.; фото автора, ЦНИИФК, 1934—1939 гг.; фото автора, ЦНИИФК, 1934—1939 гг.)

Как показали наши измерения, скорость, с которой стопа взлетает вверх по окончании своей опоры, настолько велика, что свободная материальная точка, брошенная со скоростью такой же величины и направленная, могла бы взлететь на высоту 4—5 м. Фактически стопа бегуна поднимается после отрыва от земли только на

0,5—0,6 м. Весь избыток ее кинетической энергии расходуется на энергичное сгибание коленного сочленения и на выброс стопы с голенью вперед по некоторой вынужденной кривой. Таким образом, в первоначальном импульсе маховой ноги заложены, как росток в семени, причины целой сложной цепной реактивной координации, которая предопределяет движение ноги, окончившей свой опору, на несколько десятков процентов продолжительности одиночного шага.

Боле тонкие примеры использования реактивной динамики встречаются в очень большом количестве при анализе движений мастеров высокой квалификации. Целый ряд их нашел свое отражение в наших экспериментальных работах по ходьбе, бегу и военной маршировке. Не останавливаясь на них, укажем, что характерным внешним признаком достижения описываемой стадии развития является обилие очень тонких силовых «переливов» между звеньями движущейся системы, хорошо видимых на циклограмметрических кривых. Дело в том, что реактивные силы в преобладающем числе случаев сопровождаются появлением в смежных звеньях движущейся цепи *противозначных пар волн* в кривых ускорений. Это естественно: когда одно из звеньев испытывает под действием внешней или мышечной силы ускорение в одном направлении, то смежное с ним звено, подвергаясь реактивной отдаче, обнаруживает симметричное ускорение в противоположном направлении. Это и есть противозначная пара. В то время как на ранних стадиях развития навыка (например, при беге маленьких детей) силовые волны на кривых толсты, мало расчленены и в большинстве случаев *однозначны* по всем звеньям движущейся конечности), у мастеров, подобных Ladoumègue, те же по номенклатуре волны расчленяются иногда на целые семейства тонко расчлененных волн, с большим изобилием противозначных пар, прямо указывающих на реактивные переливы. Так как и кинематическая схема ноги, и присущее ей число и распределение степеней свободы, конечно, одинаковы у мастера и у маленького ребенка, то, несомненно, и реактивные силы, возникающие в ногах обеих при приблизительно одинаковом движении их, должны быть качественно сходными. Отсутствие в кривых ребенка какого бы то ни было расчленения на детали, переполняющие кривые Ladoumègue (рис. 89 и 90), может обозначать только то, что ребенок тем или другим способом гасит свои реактивные силы, в то время как мастер предоставляет им широкую свободу.

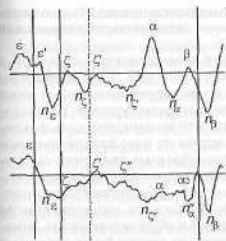


Рис. 89. Кривые продольной слагающей ускорений в центрах тяжести бедра (наверху) и голени (внизу) во второй половине переносного времени при беге на интервале от t_0 до t_1 .

Испытуемый Ж. Ладумег.
На рисунке хорошо видна необычайная расчлененность кривых, свидетельствующая о богатстве освобожденных реактивных сил. Ср. с рис. 90 (работа автора, ЦНИИФК, 1936—1939 гг.)

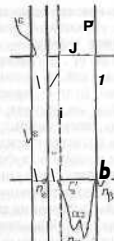


Рис. 90. Кривые продольных ускорений колена (наверху) и голеностопного сочленения (внизу) при беге ребенка 35 лет. Вторая половина переносного времени, интервал от t_0 до t_1 . Крайняя примитивность очертаний, отсутствие дифференциации волн. Ср. с рис. 89 (работа Т. С. Поповой, ВИАМ — ЦНИИФК, 1937 г.)

Очень выразительным дополнением к сказанному может послужить наблюдение, сделанное Поповой над одной из поздних стадий развития детского бега. Когда ребенок старше 7—8 лет преодолевает вторую стадию, характеризующуюся перерывом фазических волн и уже описанную выше, и когда его динамические кривые приобретают постепенно форму, свойственную взрослым, то в них начинает проявляться и упомянутая сейчас расчлененность, и «переливы» силовых волн, и противозначные пары. Оказывается, что если из двоих детей одного возраста, запечатлевших на циклограммах бег с одной и той же скоростью, кривые одного обнаруживают большую степень расчлененности, чем у второго, то при этом *амплитуды* силовых кривых первого всегда *меньше*, нежели второго. Иными словами, при одинаковом конечном результате активные силовые затраты тем ниже, чем больше достигнутая ре-

бенком расчлененность его динамических кривых. Трудно найти более убеждающее подтверждение экономичности динамически устойчивого типа,

В гл. IV в контексте общей характеристики движений и фонов таламо-паллидарного уровня уже были приведены обоснования *дискретности* и *стандартности* динамически устойчивых формул, свойственных этому уровню. Не повторяя их здесь, напомним лишь, что малочисленность фактически возможных решений задачи по нахождению динамически устойчивых форм целесообразных движений скелетно-двигательного аппарата обязательно ведет к их дивергенции и стандартизации. Кроме того, общечеловеческая одинаковость строения двигательных органов, входящая в число условий такой задачи, объясняет и общечеловеческость динамически устойчивых стандартов не только таких древних и всеобщих актов, как ходьба или бег, но и всевозможных видов прыгания, метания, плавания, удара и т. п.

К сказанному о динамически устойчивых формах движений остается добавить еще несколько замечаний.

Во-первых, из изложенного ясно, что динамически устойчивые движения не всегда принадлежат к числу циклических. Напротив, целый ряд *однократных* двигательных актов, как различные варианты прыжков, большие метательные цепные синергии (диск, ядро, копьё, ФОЛЮТ И Т. Д.), размашистые движения топором или кувалдой, очень подходит для построения динамически устойчивых форм.

Во-вторых, нужно отметить, что нам ни разу не встретилось движения, в котором динамическая устойчивость не базировалась бы на *синергиях таламо-паллидарного* уровня, иначе говоря, движения, которое не подвергалось бы полной деавтоматизации и глубокой деструкции при выпадениях этого уровня (например, при паркинсонизме). Это говорит о том, что построение и стабильное выдерживание этих форм, очевидно, обязательно нуждаются в той особой по качеству синтетической тактильно-проприоцептивной афферентации, которая характеризует этот уровень построения. Как уже было отмечено в гл. IV, достигаемая этим путем стан-

дартность составляет одновременно как сильную, так и слабую сторону этого уровня.

Действительно, стандартность целостных двигательных актов уже совершенно не свойственна ни одному из более высоколежащих уровней. В уровне пространственного поля С на высокой стандартности выдерживаются только некоторые ответственные стороны или фазы движения, в частности, фазы, связанные с особой точностью. В этих случаях коррекции уровня С очень легко идут на допущение широкой индифферентной вариативности в неответственных участках траекторий, забывая и точно собирая их снова в один фокус к решающему пункту движения. Что касается задачи стабилизации движения, т. е. охранения его от сбиваемости, то здесь тактика вышележащих уровней прямо противоположна тактике уровня В. В этом последнем динамическая устойчивость со всеми вытекающими из нее следствиями используется как основное оружие против сбиваемости. В уровнях Си Dpa же задача решается основным образом на путях приспособительной вариативности.

Последняя из подлежащих рассмотрению фаз построения двигательного навыка есть *фаза стабилизации*, к характеристике которой мы и подошли вплотную. Начнем с примера.

Два разных исполнителя, А. и Б., могут с одинаковым совершенством выполнить один и тот же двигательный акт, обнаружив при этом равную степень точности и автоматизированное™, при условии протекания этого акта в оптимальной и стабильной обстановке. Однако достаточно возникнуть каким-нибудь осложняющим, сбивающим воздействиям внешнего происхождения или тем или иным вариациям, произвольно вносимым исполнителем в совершаемое им движение, чтобы тотчас же выявилась резкая разница в состоянии двигательного навыка у обоих исполнителей. У исполнителя А. эти внешние воздействия или допущенные им

же самым преднамеренные модификации своего движения смогут вызвать частичный или полный распад той или другой компоненты движения, т. е. его *деавтоматизацию*, в то время как у исполнителя Б. от тех же причин не наступит никаких нарушений движения. В этих определенным образом измененных условиях Б. проявит более значительную степень стойкости против сбиваемости, большую прочность достигнутой им автоматизации. Мы условимся обозначать эту *сопротивляемость сбивающим влияниям* словом «стабильность» двигательного навыка или его отдельных компонент и деталей.

Факторы, обуславливающие явление сбиваемости, удобно подразделить прежде всего на группу помех и осложнений *подобного характера* и на сбивающие влияния и осложнения, возникающие *внутри* самого исполняемого двигательного акта. В обеих этих группах могут встретиться как экзогенные, так и эндогенные факторы.

К первой группе относятся такие экзогенные воздействия, как отвлекающий шум, слепящее блестящее освещение, холод, сотрясения, толчки и т. п. Примерами эндогенных факторов этой же группы могут послужить утомление, головная боль, интоксикации, болезненные недомогания, те или иные нарушения в работе рецепторов и т. п. Хорошо известно, в сколь разной мере сказывается сбивающее, деавтоматизирующее действие факторов этих типов у людей с различными степенями выработанногоTM и стабилизации навыка. К. этой же группе причин возникновения дсавтоматизации нужно отнести и соответствующие *органические поражения* центральной нервной системы, рассматриваемые в гл. VI, IX.

Для явления сбиваемости в норме значительно больший интерес представляют осложняющие факторы, возникающие *в прямой связи с самой двигательной задачей*. Их также можно распределить на две группы: экзогенную и эндогенную.

К первой отойдут осложнения в самой двигательной задаче: приводящие условия, смена привычного орудия или

материала, скользкость, вязкость, неровность почвы — применительно к локомотиям, неполадки или атипичности — применительно к рабочему процессу и т. п. Именно на осложнениях этого рода особенно ярко сказывается степень освоенности двигательного навыка. На всем протяжении второго периода его выработки совершается деятельное «оббегивание» реально встречаемых в осваиваемой задаче осложнений так, чтобы ни одно из них не могло застать исполнителя врасплох. Не нужно и подчеркивать, что сознательный, планомерный подбор вариантов и осложнений основной задачи, осуществляемый в этой фазе самим упражняющимся или его педагогом, может очень интенсифицировать усвоение навыка и повысить его стабильность¹.

К эндогенной группе сбивающих причин, связанных с задачей, нужно отнести те или другие *непосильные изменения в выполнении ее двигательного решения*. Это будут прежде всего *чрезмерные вариации* в двигательном составе, выходящие за пределы допускаемой вариативности. Гораздо более важны, однако, *изменения, выносимые в уровневую структуру*² выполняемого двигательного акта.

Деавтоматизации возникают: 1) когда по какой-нибудь причине данный подчиненный уровень, на котором протекали автоматизированные фоны, становится ведущим; 2) когда движение, выработавшее себе автоматизированный фон при ведущем уровне *N*, само переключается на другой, непривычный ему уровень *P*. Первый случай имеет хорошо известную превосходную иллюстрацию в классической литературе — в описании косьбы Левина («Анна Каренина»). Обрисованные два участника косьбы, привычный старик-крестьянин Тит и барин-дилетант Левин, очень близко воспроизводят соответственно тех лиц Б. и А., которые выведены в нашем вступительном примере. В то время как навык косьбы у старика отличается высокой стабильностью, работу

¹ В первом периоде выработки навыка, в фазах выявления двигательного состава и сенсорных коррекций, преждевременное внесение вариаций и сбивающих осложнений в условия задачи может, наоборот, принести только вред.

Левина деавтоматизирует уже целый ряд сбивающих воздействий. В частности, с большой яркостью выявлено деавтоматизирующее действие переключения фоновых уровней в положение ведущего. Весь навык косьбы строится на уровне действий *D*. Пока Левин удерживал его в качестве ведущего уровня, т. е. имел ведущим мотивом смысловую сторону своих действий с травой, — все шло гладко, и синергетический фон работал безукоризненно¹. Но как только он начинал следить за своими телодвижениями, т. е. делал сознательным и ведущим фоновый уровень синергии, — немедленно наступала деавтоматизация. Этот вид деавтоматизации изве-

¹ Ведущее положение в эти моменты именно предметного уровня хорошо характеризуется указаниями Л. Толстого, на чем при этом концентрировалось внимание Левина: «Он ничего не думал, ничего не желал, кроме того, чтобы не отстать от мужиков и как можно лучше работать». И далее: «...в середине его работы на него находили минуты, во время которых он забывал то, что делал» (т. е. забывал вникать в свои движения. — *Н. Б.*), «ему становилось легко, и в эти же самые минуты ряд его выходил почти также ровен и хорош, как и у Тита» (следовательно, следил он именно за качеством ряда. — *Н. Б.*) (Анна Каренина. — Ч. 3. — Гл. IV). Дальше, в гл. V: «Чем долее Левин косил, тем чаще и чаще чувствовал он минуты забывтья, при котором уже не руки махали косой, а сама коса делала за собой все сознающее себя, полное жизни тело, и, как бы по волшебству, без мысли о ней, работа правильная и отчетливая делалась сама собой». Здесь очень ярко выражены: предметный характер ведущего мотива, автоматизированность всего процесса и уже упоминавшаяся выше (см. гл. VI) иллюзия ведения всего движения! исполнительным орудием сто. Дальше видно, как у малотренированного Левина автоматизация *сбивается* при тех смысловых изменениях ситуации, которые имеют для себя у опытного Гита вполне автоматизированные двигательные корреляты: «Трудно было только тогда, когда надо было прекращать это сделавшееся бессознательным движение и думать, когда надо было оканчивать кочку или невыполненный шавельник. Старик делал это легко. Приходила кочка, он изменял движение и где пяткой, где концом косы подбивал кочку с обеих сторон коротенькими ударами. И, делая это, он все рассматривал и наблюдал, что открывалось перед ним». «И Левину, и молодому малому сзади его эти перемены движений были трудны. Они оба, наладив одно напряженное движение, нахо-

дились в азарте работы и не в силах были изменить движение и в то же время наблюдать, что было перед ними». В этом замечательном тексте много тонких наблюдений над деавтоматизацией и над явлением текучести. Весь пример ценен как автобиографическая зарисовка с натуры. (Выделения в тексте сделаны Н. А. Бернштейном. — *Прим. ред.*)

стен еще по шуточному рассказу о сороконожке, которая, будучи однажды спрошена, в каком порядке она переставляет свои ноги и что делает 17-я ножка в момент поднятия 28-й, сбилась до того, что не смогла более ступить ни шагу. Это справедливо, конечно, меньше всего для буквальных сороконожек.

Второй вид деавтоматизации из упомянутых выше может возникнуть, например, если ученика, разучившего фортепианный пассаж как чисто переместительный двигательный акт на уровне пространственного поля *C*, приглашают сыграть его под контролем звукового художественного восприятия, т. е. на ведущем уровне из группы, как кратко выражаются музыканты-педагоги, «играть и слышать». Достаточно такому ученику переключиться на эту новую афферентацию, чтобы пассаж, проходивший до этого уже вполне гладко, сразу совершенно разладился. Другим примером такого же переключения на непривычный уровень может послужить деавтоматизация ходьбы при хождении по шпалам, уже упоминавшаяся ранее по другому поводу.

Опасность возникновения подобных деавтоматизаций у разучиваемых навыков, т. е. бесплодных потерь времени и труда, должна бы побудить педагогов и тренеров спорта, труда, музыкального исполнения и т. д. с большой осторожностью составлять тренировочные задачи и упражнения. Если такое упражнение строится само по себе или ошибочно разучивается учеником не на том уровне, на котором должен протекать окончательный целесообразный навык, то автоматизация, приобретенная при этом упражнении, все равно сообьется, как только учащийся попытается переключиться на ведущий уровень окончательно развитого навыка. Сюда относятся, например, такие ошибки, как тренировка фортепианной игры на немой или (еще хуже) на нарисованной клавиатуре, тренировка бега на коньках или плавания путем упражнений на полу или на скамеечке и т. п. Эта же угроза деавтоматизации относится и вообще ко всякого рода имитациям или передразниваниям натуральных движений, вро-

де тренировки рубки зубилом — на деревянном молоточке или тренировки подготовительных движений к толканию ядра без ядра в руке. В лучшем случае такая псевдотренировка окажется бесполезной, а в худшем — сможет сбить и те автоматизмы правильного уровня, которые к этому времени успели накопиться у ученика другими путями. Напомним, что переключение или полная смена ведущего уровня есть всегда очень трудно дающийся и резко деавтоматизирующий процесс.

Итак, *сбиваемость* может быть обусловлена, во-первых, *осложняющими воздействиями или переменами*, способными нарушить или деавтоматизировать движение, а во-вторых, допущением в последнем чрезмерных, не выдерживаемых им *вариативных видоизменений*. В начале второго периода построения навыка стабильность фоновых компонент, только что переключенных в соответственные низовые уровни, можно считать близкой к нулю, и вся постройка может разрушиться, как картонный домик от первого дуновения ветерка. На протяжении второго, стабилизационного, периода разные стороны и детали двигательного акта постепенно увеличивают свою стабильность по отношению к явлению сбиваемости. Эти разные стороны и детали движения достигают посильной им наибольшей меры стабильности очень различными темпами, зависящими от качеств данной коррекции и от индивидуальных черт психомоторного профиля обучающегося. Далее, разным сторонам и деталям двигательного акта удастся достигнуть весьма различных финальных степеней прочности и стабильности, различных как между разными деталями, так и избирательно у каждой из деталей по отношению к разным возможным факторам сбиваемости. У каждой фоновой компоненты движения, у каждого из качеств сенсорных коррекций до самого конца остаются свои особенно уязвимые стороны, свои ахиллесовы пяты, по отношению к которым стабильность навсегда задерживается на сравнительно низких уровнях. Это придает явлению сбиваемости и ее факторам черты *очень специфиче-*

ской избирательности в зависимости от природы и характера фоновых компонент и коррекций, с одной стороны, и от свойств сбивающих факторов — с другой.

На изменяющиеся внешние воздействия координационные системы центральной нервной системы реагируют либо *компенсационными*, поправочными коррекциями, направленными к сохранению *стандартности* соответственной, попавшей под удар детали движения (так по большей части ведет себя, например, уровень синергии), либо же внесением в протекание движения тех или иных *приспособительных* вариаций. В этом случае степень стабильности той или иной детали движения прямо определяется шириной круга тех вариаций, которые еще безвредны для движения с точки зрения его сбиваемости.

Еще в гл. V было показано, что *вариативность движений*, как в случайном плане, так и в плане преднамеренном, где она приобретает обличье переключаемости, пластичности, экстемпоральности, викарной взаимозаменяемости и т. д., имеет свои специфические качественные особенности по каждому из уровней, очень отчетливо проявляющиеся на общем фоне количественного возрастания возможностей вариативности деталей снизу вверх по уровням. При освоении нового двигательного навыка та степень и то разнообразие направлений вариативности, на которые может отважиться обучающийся по отношению к каждой из фоновых компонент движения, постепенно возрастают. Граница между безопасными для движения вариациями и теми, которые уже оказывают на выполнение движения сбивающее, разрушающее действие, мало-помалу отодвигается.

Процесс *стандартизации* деталей движения, составляющий сущность второй из фаз автоматизации и только что описанный процесс *расширения диапазона допускаемой вариативности* идут во взаимно встречных направлениях, но движутся к одной общей для обоих цели — *стабилизации* двигательного акта. В начале осваивания навыка устойчивость движения против сбивающего действия вносимых в него ва-

риаций низка, вариативность же, вызываемая неумением фоновых уровней вносить компенсирующие коррекции к изменчивым внешним условиям, наоборот, поневоле значительна. Отсюда, естественно, проистекает большое число сбоев проявлений разрушающей деавтоматизации. Чем дальше продвигается освоение, тем стандартнее и устойчивее оформляются фоновыми уровнями порученные им детали, а при этом все шире становится круг тех вариаций, которые центральная нервная система уже в состоянии безбоязненно позволить себе. Таким образом, число случаев, когда бы невольные, недокомпенсированные вариации вышли за пределы допускаемого диапазона, неуклонно стремится к нулю и обычно рано или поздно достигает его.

Если для уровня *В* основным оружием по линии стабилизации навыков и их компонент служит стандартность движений, выдерживание динамически устойчивых форм, соблюдение штампов и стереотипов, то в вышележащих уровнях мы сталкиваемся с обратной картиной. Через всю лестницу уровней построения красной нитью проходит одно явление: это непрерывный рост снизу вверх по уровням *переключаемости* и распространительной применимости двигательных навыков. Это явление стоит в прямом родстве с подобным же ростом приспособительной и компенсационной изменчивости всех вообще движений, что уже освещено выше. Однако это свойство генерализуемости не рождается само собой с первых же шагов выработки нового навыка одного из верхних уровней построения: развитие его составляет непосредственное содержание *фазы стабилизации*.

Как уже было продемонстрировано на примерах, в фазе стабилизации приспособительная переключаемость навыков верхних уровней неуклонно возрастает, диапазон допускаемой вариативности расширяется. В навыках уровня пространственного поля нарастает и изменчивость форм траекторий, и взаимозаменяемость рабочих органов, и, наконец, переключаемость приемов, ведущих к решению одной и той же конечной задачи. Эта переключаемость лежит как в осно-

ве так называемой пластичности нервной системы, так и в основе широкой возможности *компенсаций* и *викариатов*, свойственной движениям и навыкам уровня пространственного поля. Еще более высокой степени достигает в ряде отношений приспособительная вариативность и пластичность навыков уровня действия *D*. Состав цепи движений и приемов, осуществляющих действие, может переключаться у высокообразованного навыка в очень широких пределах. Ни один предметный навык никогда не реализуется дважды подряд точно одним и тем же порядком: в этом можно убедиться на любом виде действия, начиная от сложных профессиональных навыков и кончая закуриванием папиросы или завязыванием бантика на обуви. Что касается отдельных движений-звеньев цепного действия (высших автоматизмов, *skills*), то вариативность и переключаемость деталей внутри каждого из них прямо определяются тем, на каком фоновом уровне осуществляется данный автоматизм. В среднем выводе, переменная вариативности последовательных автоматизмов действия на вариативность состава всей цепи, мы придем здесь к показателям переключаемости, далеко превосходящим по высоте то, что доступно для уровня *C*.

Этот факт высокой и возрастающей от уровня к уровню пластичности навыков стоит в несомненной прямой связи с общим ходом последовательного развития моторики в филогенезе. Он становится понятным, если смотреть на развитие уровней построения как на биологический процесс приспособления организма к решению все более усложняющихся двигательных задач. Каждый уровень, как уже говорилось, возникает и развивается в ответ на появление перед организмом новых по содержанию и качеству задач. Чем сложнее задача, чем больше в ней элементов приравнивания к среде и к изменчивым обстоятельствам, тем большей гибкости, приспособительности и, следовательно, переключаемое™ она требует от двигательных координации. Естественно, что каждый следующий вверх уровень построения обнаружива-

ет все большую маневренность работы, все большую гибкость в выборе двигательных реакций.

Даваемая в этой главе трактовка автоматизации навыков позволяет подойти и к объяснению механизмов осуществления этой генерализации и переключаемое™ навыков. Чем выше мы поднимаемся по уровням построения, тем более широкие и обобщенные *сензорные синтезы* встречаем там в роли управляющих афферентаций. При описании соответствующих уровней мы могли уже видеть совершающийся в их сенсорных полях, по пути снизу вверх, поочередный отрыв сначала от координатной системы собственного тела, затем от точной координаты пространства, потом от исполнительного органа, масштаба, метрики, геометрического подобия и т. д.

Здесь мы вновь встречаемся с тем самым явлением, которое сыграло уже такую важную роль в начальных фазах формирования навыка, — с явлением *переноса*. Если в фазе автоматизации перенос упражненности выявился в виде использования ранее выработанных адекватных автоматизмов, того, что мы обозначили как *перенос по навыку*, то в фазе стабилизации совершенно сходные механизмы вновь вступают в работу в значительно более многообразных формах.

Чем больше обобщено и синтетично сенсорное поле, чем в большей мере оно независимо от работающего органа благодаря доминированию телерецепторной, помешающих *вне его*, в тем более широком диапазоне могут быть находимы идентичные и общие разным вариантам действия сенсорные коррекции¹. Тангорецепторы и проприорецепторы должны помещаться на самом рабочем органе, вследствие чего создаваемая ими сенсорная сигнализация навсегда закрепляется именно за последним. Если же коррекции базируются на сигналах телерецепторов и если они при этом синтезирова-

¹ У животных, у которых рабочим органом для очень многих двигательных актов служит морда, несущая на себе телерецепторы, это обстоятельство, несомненно, очень сильно препятствует указанному обобщению сенсорных полей и подчеркивает значение, какое имел переход многих операций от пасти к руке.

ны в целостное пространственное поле, не связанное с той или иной конечностью, то понятно, что такие коррекции, будучи раз выработанными, с разной легкостью и точностью могут управлять движениями самых разнообразных исполнительных органов. Это обстоятельство объясняет механизмы так называемого *переноса по органу*, выявляя попутно и причину избирательно различной податливости разных уровней к переносам этого рода.

Уровень синергии, наиболее тесно связанный с танго- и проприорецепторикой, по указанным причинам очень мало податлив к переносам по органу, хотя его сенсорное поле уже в некоторой степени объединено в единую координатную систему собственного тела. Огромная обобщенность синтетического поля пространственного уровня *С* (особенно его верхнего подуровня) уже была в достаточной мере подчеркнута. Генерализованность сенсорно-гностического синтеза уровня действий *D* заходит еще дальше; его пространство упорядочивается «качественной геометрией» (топологией), его кинематика — своего рода «качественной форомией». В связи с этим после выработки в каком-либо рабочем органе сложного двигательного навыка обнаруживаются с большой и строгой избирательностью эффекты переноса компонент этого навыка в другой, не подвергавшийся упражнению орган: фоны и автоматизмы из уровня *В* — в минимальной степени, те же элементы из уровня пространственного поля и из самого уровня действий — в очень большой мере, с единственным ограничением по адресу последнего — в том, что касается неравноценности в нем правой и левой руки.

Все большая генерализация компонент навыка на основе синтетических сенсорных полей составляет существенную часть стабилизационной фазы по линии уровней *Си/*). Наряду с переносом по органу здесь развиваются и многие другие формы переноса упражненности. В сущности, все то, что в одномоментном разрезе воспринимается нами как *переключаемость* навыков и элементов, с точки зрения динамики возникновения всегда имеет под собой соответственный вид

переноса. И то, и другое непосредственно базируется на генерализованности соответственного сенсорного поля и на возрастающем умении использовать ее. Таким порядком в высокоразвитом двигательном навыке проявляет себя переключаемость, а тем самым и перенос, по форме и строению элементов двигательного состава, по рабочему приему, наконец, по структуре самой цепи действия.

Закончим очерк развития двигательного навыка несколькими дополнениями по вопросам, непосредственно близким к этой теме. Первое из них относится к одной разновидности сенсорных коррекций, развивающейся явно в поздних фазах выработки двигательных навыков и заслуживающей упоминания в связи с ее частой встречаемостью.

Мы не один раз настойчиво подчеркивали, какой иррегулярностью и непредусмотримой изменчивостью обладают не подвластные организму реактивные и внешние силы. Теперь своевременно будет сказать, что по отношению к стандартизируемым сторонам и элементам движений: большим локоторным синергиям, динамически устойчивым движениям, точностным эпизодам и т. п., на основе накапливаемого опыта постепенно вычленяется какая-то часть внешних воздействий, которая может быть в большей или меньшей мере *учтена заранее*. Это создает возможность предварительных, или *прелиминарных, коррекций*, включаемых в самые начальные моменты данного эпизода движения. В этих случаях прелиминарные коррекции приходят на смену применявшимся до этого вторичным коррекциям, или коррекциям *post factum*, вносящим в движение поправки по мере фактического накапливания отклонений.

Такие прелиминарные коррекции вырабатываются, например, по ходу развития *ходьбы* у маленького ребенка (*Т. С. Попова*) применительно к переносному времени ноги. На втором-третьем году жизни вслед за основным разбигательным импульсом *s* в самом начале переноса ноги обязательно

имеет место второй импульс того же направления, во второй половине переносного времени («детская» *Q*). Величина второго импульса очень изменчива и близко соответствует колебаниям длины шага, также очень значительным в этом возрасте. Этот «детский» добавочный импульс, явно играющий роль вторичной коррекции к длине шага, совершенно исчезает к более позднему возрасту. В то же время стандартность длины шага у детей старшего возраста и у взрослых очень высока; она обеспечивается в самом главном прелиминарной силовой волной *e*. На месте «детской» вторично коррекционной волны в кривых у детей старшего возраста и взрослых имеются лишь очень незначительные и крайне вариативные зубчики, на долю которых достаются последние, уточняющие поправки.

Подобные же прелиминарные коррекции имеют место и в начальные моменты переноса ноги при беге. Как уже было сказано выше, этот перенос ноги течет при высокоразвитом навыке бега как динамически устойчивое движение, реализующееся почти без вмешательства активной коррекционной динамики. Начальный импульс этой фазы движения как бы пускает ее в ход, внося в нее прелиминарно те коррекции, которые осуществимы к этому моменту; дальше же движение развивается само собой, подобно метко брошенному мячу.

Совершенно естественно, что видная роль отводится прелиминарным коррекциям в *баллистических движениях*: удара, толкания, метания. Опытные инструкторы по слесарному делу указывают, что меткость ударного движения при рубке зубилом определяется еще в замаховой части этого движения. Тем более важны прелиминарные коррекции при метательных движениях, где бросаемый предмет вообще лишается управления с момента выпуска из рук. Наконец, аналогичная роль выпадает на их долю и при *прыжке*, который можно с правом рассматривать как метание собственного тела и в котором какое-либо управление движением общего центра тяжести тела становится невозможным с момента начала полетной фазы.

На высоких ступенях развития цепных предметных навыков уровня действия *D* точно так же могут сформироваться prelimинарные коррекции. В этом случае коррекции указанного рода всегда исходят из *самого ведущего уровня D* и, как показывает патология выпадений, их реализация непосредственно связана с нормальным функционированием премоторных систем коры. Психоневрологи обозначают это или близко родственное ему явление термином *антеципация*. Насколько это удается проследить, prelimинарные коррекции образуются у искусных исполнителей; например, в двучленных (бимануальных) трудовых операциях. Благодаря им для исполнителя становится возможным, «запустить» одну из рук на выполнение очередного звена действия, сосредоточить затем все внимание на подобной же антеципационной подготовке к запуску другой и т. д. Судя по общности выпадений при клинических синдромах, антеципации стоят очень близко к корковым «пусковым механизмам» движений, являемым нервно-психической «установки» — к кругу явлений, далеко еще не доведенных до полной ясности и обследованности.

Очерк развития навыков следует дополнить еще анализом одного из сложнейших навыков, двигательно реализуемых в уровне действий, — *навыка письма (скорости)*. *Акт скорости* в его сформированном виде обладает значительно большей сложностью координационного построения, чем рассмотренные в гл. VII акты хватания и локомоции; недаром же и его расстройства при очаговых и системных поражениях мозга так разнообразны. *Уровень палеокинетических регуляций A* обеспечивает, во-первых, общий тонический фон пишущей конечности и всей рабочей позы, а во-вторых, основную вибрационную иннервацию мышц предплечья (пронаторы и супинаторы, а также флексоры и экстензоры запястья и пальцев). Эта вибрация как и все, реализуемые этим уровнем, монотонна, очень ритмична и протекает, как вынужденное упругое колебание, по почти чистой синусоиде — элементарнейшей из всех кривых колебательного про-

цесса. *Уровень синергий B* обеспечивает плавную округлость движения и его временной (ритмической) узор: первая осуществляется посредством создания очень тонкой, но прочной синергии всех мышц кисти и предплечья, дающей тонко постепенные перемены напряжений из одних мышц в другие. Группа фоновых координации, реализуемых уровнем *B*, легко вычлняется для наблюдения, благодаря тому что фоны этого уровня совершенно не переключаются не только на другие конечности, но даже на другие пункты той же конечности. Наоборот, двигательные компоненты, осуществляемые стриальными подуровнем *C1* и кортикальными уров-

нями, легко переключаются в порядке «пластичности нервной системы». Заставив испытуемого без предварительной тренировки писать разными точками правой руки, левой рукой, кончиком стопы и т. п. (см. рис. 43) и наблюдая за процессом письма и изменениями почерка, мы можем ясно опознать фоновые компоненты из уровня *B* в отличие от всех прочих. Как правило, при таких переключениях вся общая физиономия «почерка» сохраняется полностью, но округлая плавность движений и буквенных очертаний, составляющая характерную черту скорости и являющаяся непосредственной причиной ее беглости, целиком исчезает, заменяясь затрудненной угловатостью и медленностью движений, напоминающих движения начинающих.

Стриальный подуровень C1 вносит в акт письма те же элементы прилаживания к пространству по ходу процесса, что и в ходьбе: реализацию движения кончика пера по поверхности бумаги, вдоль действительных или воображаемых линеек, квалифицированную хватку и держание орудия письма и т. д. Участие верхнего, *пирамидного подуровня пространственного поля C2* труднее формулировать. Насколько можно в настоящее время судить об этом по клиническому материалу выпадений, на его долю приходится осуществление геометрической, начертательной стороны письма: выполнение контуров букв и соблюдение как раз того, что составляет *существенную часть почерка*, т. е. геометрического подобия

изображаемых букв некоторым общим стандартам данного лица, которые воспроизводятся им одинаково при всяких масштабах письма, разных позах (сидя, пером, или стоя, мелом, и т. п.) и орудия писания¹. Эти характеристические стандарты сохраняются и при переключении на любую из конечностей. Еще одна техническая подробность акта письма, обычно ускользающая от внимания наблюдателей, но имеющая первостепенное значение, реализуется, по-видимому, уровнем пространственного поля в его целом.

Сложное движение по плоскости, след от которого на бумаге и составляет результат акта письма, представляет собой *траекторию кончика* пера или карандаша. Для того чтобы эта точка, отстоящая от концов пальцев на несколько сантиметров (на два десятка поперечников выписываемых букв), могла проделать все требуемые подробности движения с точностью, исчисляемой десятыми долями миллиметра (как при письме, так и при рисовании), другие пункты сложной кинематической цепи руки с пером должны выводить в пространстве совсем другие, но при этом не менее точные траектории. Как показывают точные циклограмметрические наблюдения движений письма, даже концы пальцев, ближайших к кончику пера, совершают движения не плоскостные и настолько отличающиеся от движений пишущего острья, что след их уже недоступен прочтению (рвх. 91—93, *не помещены*. — *Прим. ред.*). Еще более далеки от конфигурации выписываемых букв траектории пястно-фаланговых сочленений кисти, по которым уже совершенно невозможно угадать написанный текст. Таким образом, ни одна из точек самой конечности не выписывает в пространстве ни одной буквы, а только резко, хотя и закономерно, искаженные их видоизменения (анаморфозы), причем сам испытуемый, как общее

¹ В гл. IV было указано, что почерк, как и походка, туше, повадки и т. п., определяется уровнем D, что совершенно правильно, но требует уточнения. Уровень B придает почерку его общий *выразительный облик*, проявляющийся в его округлости, угловатости, решительности и т. п.; *уровень же, обуславливающий стандарты геометрических очертаний отдельных букв и письменных знаков.*

правило, не имеет осознанного понятия о том, как выглядят эти производные аноморфозы. Эту-то перешифровку и выполняет уровень С, и (заметим, забегая вперед) ее автоматизация представляет собой одну из наибольших трудностей при обучении письму ребенка. Поскольку построение этой перешифровки нуждается в зрительном коррекционном контроле, ее освоение никогда не удается в удовлетворительной мере слепорожденным, что и налагает своеобразный, характерный отпечаток на их почерк.

Наконец, *уровень действий D*, анатомические субстраты которого в коре включают и известные клиницистам графические центры, осуществляет вместе с высшей уровневой группой ^ смысловую сторону письма. Для этого уровня буквы — уже не геометрические конфигурации, а смысловые схемы, ассоциированные с их звуковыми образами, и с начертательными образами слов. Именно эти уровни «модулируют» монотонные фоновые вибрации, задаваемые низовыми уровнями, как это было указано в гл. IV.

Роль премоторной системы в организации письма вполне определяется теми ее свойствами, которые были охарактеризованы в гл. VI, и полностью же подтверждается наблюдениями расстройств письма при выбытии ее из строя. Такое выключение премоторных функций ведет к деавтоматизации письма, т. е. к возврату его техники на уровень, очень близкий к уровню начинающих школьников: вместо слитного, опирающегося на автоматическую колебательную синергию, быстрого процесса появляются отдельные, разрозненные движения и нажимы. По терминологии А. Лурии, совершается распад кинетической мелодии чередования активных и пассивных элементов. Это разрушает не геометрический, топологический образ буквы, как бывает при очагах сенсорной и гностической аграфии (гл. VI), а только автоматизированный навык скорописи; буквы получают- у премоторного больного не искаженные и бессмысленные, а только огрубленные и неуклюжие по очертаниям и медленные по выполнению.

Таким образом, в письме, как и в других навыках, премоторная система не вносит никаких новых коррекционных элементов, а лишь обеспечивает возможность полновесного автоматизированного использования фоновых уровней, главным образом здесь — уровня синергии.

Нет сомнения в существовании и влиянии на процесс письма кортикальных уровней, более высоких, чем D. Их существование вскрывается и доказывается разнообразием форм патологических нарушений смысловой стороны письма (выпадение,perseverация, параграфия и т. д.) при различных локализациях поражений мозга, о чем была уже речь в гл. VI. В этом пункте — уже неоспоримый переход в область чистой психологии; поэтому уместно ограничиться сказанным выше о моторной координационной структуре письма, чтобы вкратце проследить с помощью этого анализа развитие письма у обучающегося.

Существенное отличие процесса освоения письма от изложенного в гл. VII хода развития схватывания предмета в том, что потребность схватывания возникает с первых же недель жизни ребенка, когда анатомическое развитие завершено только у субстратов самых низших уровней. Вначале акт схватывания осуществляется суррогатно, с помощью наличных координационных ресурсов, а в дальнейшем неукоснительно передвигается *снизу вверх*, в исправлении энцефализации, по мере поочередного созревания уровней, вплоть до наиболее адекватного этому акту, на котором ему суждено остаться уже на всю дальнейшую жизнь. С письмом происходит как раз наоборот. Обучение этому навыку начинается тогда, когда формирование уровней в основном закончилось, и в связи с этим протекает в своей принципиальной схеме так же, как и типические процессы освоения навыков у взрослого, т. е. в порядке постепенной передачи компонент *сверху вниз*. Ребенок имеет здесь преимущество перед взрослым в том, что его центральная нервная система значительно пластичнее и гибче; наоборот, преимущество взрослого при обучении новым навыкам — в наличии у него более богатых

фондов коррекций, запасенных им за предшествующую жизнь, т. е. вспомогательных, фоновых автоматизмов, которыми он может использовать в новой встретившейся ему комбинации в порядке переноса.

По типической схеме освоения навыка реализация письма у абсолютного новичка начинается с *верхнего*, ведущего уровня этого акта, во всяком случае (оставляя под вопросом роль высших гностических уровней), с наивысшего из уровней, связанных с чисто моторной, координационной стороной процесса письма, а именно с уровня действий D.

Ребенок, знающий буквы и осваивающий грамоту, изображает (печатные) буквы в виде их основных схем, при очень грубой пространственной геометрической координации. Здесь достойны внимания два обстоятельства, освещающие некоторые из сторон координационного построения письма.

Еще неграмотный, но владеющий карандашом и интересующийся книгой ребенок охотно *срисовывает* буквы, копируя их при этом, разумеется, со всеми замечаемыми им подробностями типографского шрифта — черточками, выступами и т. д., поскольку он еще не различает в буквах существенного от несущественного. Когда же наступает более поздняя фаза попыток уже смыслового письма печатными буквами, все эти черточки и завитки куда-то исчезают; получается впечатление, что графика ребенка стала небрежнее. Это неверно. Он просто уходит от геометрического образа буквы, которую он *срисовывал на уровне пространственного поля* как узор, и переключается на смысловую схему буквенного знака из уровня действий, для которой украшения уже не имеют значения.

Другая интересная деталь — обилие в описываемой фазе зеркально обращенных букв, а иногда даже целых слов (нередко сопровождаемых аналогичными ошибками и в прочтении слов) зависит от описанной уже в гл. VII, имеющей место на этой ступени онтогенеза доминантности уровня пространственного поля, индифферентного к различиям правой и левой. Когда в дальнейшем преобладание и по от-

носительному количеству двигательных актов, и по их значимости переходит к уровню действий, эти ошибки полностью исчезают.

Упомянем о некоторых фазах, неизбежно проходимых каждым подростком независимо от применяемого к нему метода обучения. Первое время обучения ребенок пишет крупно, и это зависит не только от относительной количественной грубости его пространственных координации. Видимо, главная причина в том, что, чем крупнее письмо, тем меньше относительная разница между движениями КОНЧИКУ пера и движениями точек самой руки, т. е. тем проще и доступнее уже описанная перешифровка. Это прямо подтверждается циклографическими наблюдениями. Только постепенно, по мере освоения этой перешифровки, ребенок выучивается переносить на кончик пера сначала зрительные, а потом и проприоцептивные коррекции, приобретая умение автоматически обеспечить кончику пера любую требуемую траекторию. Это постепенное освоение письма позволяет ему уменьшать мало-помалу величину выписываемых букв. Характеризуемая перешифровка и ее освоение заслуживают внимания потому, что она представляет собой общее явление, имеющее место во всех действиях, совершаемых с помощью орудия: ножа, иглы, паяльника.) плоскогубцев, электросварочного прибора и т. п. Взрослый, осваивающий технику работы с таким орудием, имеет в своем распоряжении уже много аналогичных, ранее приобретенных навыков, для которых часто как раз письмо является первым прототипом; ребенку, лишенному такого опыта, все это дается значительно труднее.

Автоматизация описанной перешифровки состоит в переклещении этой координационной компоненты из ведущего уровня действий вниз, в уровень пространственного поля С.

Наряду с этим процессом совершается автоматизация другого рода — освоение письма по линейкам. Движение предплечья, ведущего перо вдоль строки, прилагивается к

требованиям расчлененной плоскости, лежащей перед глазами, и постепенно переводится из компетенции зрительного контроля в область проприоцептивного, при котором ровная расстановка и направленность строк удаются уже и на иерархизированной бумаге. Эта фоновая слагающая переклещается из ведущего уровня в стриальный подуровень С1.

Наконец, постепенно уже осуществляется, но осваивается медленнее и труднее всего остального овладение собственно скорописью, связанное с выработкой фоновых автоматизмов в обоих нижних уровнях — таламо-паллидарном В и рубро-спинальном А. На этом пути осваивается правильное распределение нажимов, т. е. управление усилиями по третьей координате, перпендикулярной к плоскости бумаги. Перо перестает цеплять за бумагу, делать кляксы и выводить утрированные нажимы. Приобретается навык слитного писания слов и позднее всего — скорописная несущая колебательная синергия. Самые древние по филогенезу и развивающиеся раньше всех остальных в онтогенезе уровни обуздываются труднее и позже всех, так что настоящая скоропись вырабатывается только путем очень долгой практики, всегда уже по выходе из отрочества (рис. 94).

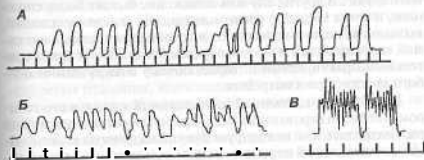


Рис. 94. Кимографическая запись нажимов при написании слов: «Маша несла». А — ученик 1-го класса; Б — ученик 2-го класса; В — студент. Слияние графических элементов и переход в скоропись (Е. Гурьянов)

Закончим эту главу еще несколькими замечаниями по вопросам деавтоматизации, имеющими известное практическое значение.

В тех случаях, когда деавтоматизация не вызвана органическими поражениями и не является в связи с этим невосстановимой, вызванные ею нарушения движения могут быть сравнительно легко ликвидированы. Процесс восстановления уже имевшей место, но почему-либо временно утраченной или ослабшей автоматизации движения заслуживает названия *реавтоматизации*. Этот процесс не включает ни новой выработки фоновых автоматизмов, ни создания каких-либо викарных заплат на образовавшиеся координационные прорехи, а, как правило, сводится только к приведению в работоспособное состояние тех же самых автоматизмов, которыми центральная нервная система прочно располагала до наступившей деавтоматизации. В некоторых случаях, когда деавтоматизация явилась ответом на чрезмерное сбивающее влияние от внешних воздействий или от нерасчитанно больших, произвольно допущенных в движении вариаций (см. гл. IX), достаточно просто устранить эти сбивающие воздействия, чтобы получить немедленную реавтоматизацию. В других случаях положение бывает более сложным, и тогда характер реавтоматизации зависит от условий, вызвавших деавтоматизацию, и от обнаруживаемых ею самой свойств. Один из таких случаев представляет самостоятельный практический интерес, почему и заслуживает особого краткого рассмотрения.

Каждый выработанный двигательный навык в его готовом, автоматизированном виде и рабочем состоянии можно рассматривать как некоторую *функционирующую constellation* в центральной нервной системе, не претрещая пока ближе, что подразумевать под ней в материальном плане.

За подобной рабочей constellation всеми признаются свойства нестойкости, непрочности, заставляющие ее частично распадаться немедленно вслед за прекращением работы

чего процесса. Бесспорно, что все рабочие constellation, соответствующие активной, работоспособной установке на реализацию выработанного навыка, уже от самого действия премеи, от жизненной тряски, довольно быстро разрегулируются при бездействии, как тонкий прибор, перевозимый по неровной дороге.

Очень похоже, что те рабочие элементы, из которых монтируются constellation, настолько немногочисленны и находятся в настолько большом спросе, что по миновании фактической надобности в применении constellation *A* отдельные элементы тотчас же начинают изыматься из нее как необходимые для возведения следующих очередных рабочих constellation *B*, Сит. д. Еще сильнее, чем время, на constellation действует разрушающим, разрегулирующим образом включение других подобных им, имеющих тождественные с ними элементы constellation.

Большие промежутки времени (порядка недель или месяцев) неиспользования той или другой constellation навыка, т. е. неупражнения последнего, деавтоматизируют навык в сравнительно крупном масштабе, так что для реавтоматизации требуется уже настойчивое упражнение — *ретренировка*. Важно отметить, что деавтоматизация наступает отнюдь не одновременно и не одинаковыми темпами по разным компонентам навыка. Напротив, известно, что по отношению к одним компонентам имеет место особенно большая нестойкость и быстрота растренировывания от неупражнения, в то время как другие компоненты, например определяющие «секреты» плавания, велосипедной езды и т. п., охарактеризованные выше, обладают, по-видимому, пожизненной неразрушаемостью.

Действие на навыковую constellation *малых промежутков времени*, например ото дня ко дню, качественно иное. Частичная разрегулировка constellation успевает произойти и за эти короткие интервалы, и при всех видах рабочих процессов первые десятки минут после возобновления работы всегда уходят на их подстройку и восстановление. Это широко

известный феномен «врабатывания» или вхождения в работу. Физиологическая суть и структура врабатывания еще далеко не исследованы; вероятнее всего даже, что в разных случаях речь идет об очень различных между собой физиологических процессах. В одних случаях, например при мелких и точных работах, центр тяжести врабатывания, несомненно, лежит в каких-то тонких подстройках и подрегулировках координатных фоновых механизмов; в других — играет решающую роль вхождение в определенный рабочий темп и ритм, и тогда большую пользу приносит вступительная гимнастика, рассчитанная как можно точнее на ритм предстоящей работы. Наконец, в иных случаях врабатывание ближе всего напоминает приобретение разгона, инерции работы, своего рода запуск мотора или раскачку тяжелого маятника. Несомненно, что успешность описываемой разновидности реавтоматизации — врабатывания — должна прямо зависеть от правильности анализа этого процесса в каждом отдельном случае и от адекватности принимаемых в связи с этим вспомогательных мер. Одна всеобщая особенность врабатывания заслуживает самого пристального внимания при его анализе: степень и характер частичных разрезулировок и деавтоматизаций, вызывающих необходимость врабатывания, стоят вне зависимости от давности и стабильности приобретенного навыка. В связи с этим, правда, в несколько различной мере для навыков разного типа и уровневго состава, длительность и способы требующегося врабатывания менее всего определяются давностью навыка. Это заметно отличает деавтоматизации, преодолеваемые врабатыванием, от растреированности, обусловленной более или менее длительной запушенностью упражнений по данному навыку: после больших перерывов старые, прочно усвоенные навыки, как правило, восстанавливаются быстрее.

Насколько быстро наступает в некоторых случаях деавтоматизация от времени, видно из того, какое сбивающее действие оказывает на известные виды работы допущение частых микропауз, каждый раз требующих нового врабатыва-

ния. При составлении графиков микрорежима данной работы необходимо считаться со степенью деавтоматизируемости того или иного вида работы под действием даже кратчайших промежутков времени между рабочими периодами¹.

Глава девятая

Признаки уровневой структуры в патологии и в норме

В предшествующих главах мы стремились, где только это оказывалось возможным, указать на точки приложения из-

Л. Осипов и Е. Бабаева провели в Центральном научно-исследовательском институте физической культуры (1934—1940) ряд специальных исследований процесса врабатывания и роли производственной гимнастики и физкультпауз. По их данным:

1. «Длительное вхождение в работу (на протяжении часа и больше) главным образом имеет место в тех видах производственного труда, где темп движений рабочего не обусловлен скоростью работы механизмов; однако вхождение в работу может иметь место и при работе на конвейере. По преимуществу длительное вхождение в работу наблюдается при ручных операциях, связанных с небольшими физическими усилиями, и там, где характер работы требует большой координации движений».
2. «... устойчивое состояние работоспособности организма, которое наступает после более или менее длительного периода вхождения в работу, обуславливается не только приспособлением сердечно-сосудистой и дыхательной системы, но главным образом соответствующей настройкой центральной нервной системы на выполнение данной работы».
3. Применение вводной гимнастики, разработанной в соответствии с особенностями труда, в частности, с его темпом, помогает рабочим быстрее настроиться и сократить период вхождения в работу (например, на обувной фабрике, где в дни с вводной гимнастикой рабочие-стахановцы расходовали на первую пару заготовок в среднем на 19,4 с меньше времени и производили за первые 15 часов работы больше на 1—2 пары заготовок, чем в контрольные дни без вводной гимнастики).
4. 3 или 4-минутные физкультпаузы (активный отдых) при правильной организации их дали положительный восстановительный эффект на десятках предприятий СССР. На Калужском электромеханическом заводе интенсивность работы сборщиков телефонных аппаратов возросла на 9,3 %; на Шарикоподшипниковом заводе им. Л. М. Кагановича в шифровальном цехе — на 6,3 %; на обувной фабрике «Парижская коммуна» — на 3,6 % и т. д. (Осипов Л. Производственная гимнастика / Л. Осипов, Е. Бабаева. - М., 1940. - С. 4-7).

лагаемой здесь теории к повседневной практике, иллюстрируя все ее основные положения конкретными примерами, извлеченными из жизни. В частности, вся предыдущая гл. VIII представляет собой такое приложение к области педагогической практики — к вопросам развития навыков спорта, труда или исполнительского искусства.

Нам остается подвести итоги, насколько это возможно сделать, приложениями теории координаций к области *двигательной патологии* и, в частности, к патологии нервной системы, что до этого момента делалось нами лишь мимоходом, попутно, при характеристиках отдельных уровней построения. Отнюдь не покушаясь на какую-либо переработку невропатологической семиотики, мы лишь попытаемся дать здесь краткий очерк тех изменений, которые вносятся и трактовку очаговых и системных нарушений моторики и претерпеваемых ими компенсаций согласно теории сенсорных коррекций. Главным же образом необходимо остановиться на насущном и естественно встающем перед каждым читателем вопросе о *критериях* для суждения об уровне построения двигательных актов, об *объективных специфических признаках*, способных помочь установлению различных сторон и характеристических черт этого построения и пригодных в перспективе для дифференциально-диагностического использования.

В искании таких признаков построения мы исходим все из тех же основных позиций об *избирательной контингентности* движений, управляемых каждым из уровней центральной нервной системы. Мы делаем ударение не на вопросе, *что нарушается в движениях* (всех вообще) при так или иначе локализованном очерченном очаге, а на вопросе, *какие именно движения* нарушаются в связи с ним. Что же касается, первого вопроса, то качественные расстройства отдельных сторон и деталей отделки, обнаруживающиеся при подобном очаге в преобладающем большинстве движений, понимаются нами со всей отчетливостью как нарушения Б протекании *определенных технических фонов*, управляемых постро-

318

давшим уровнем, т. е. опять-таки с конкретным учетом контингентности и уровневой принадлежности этих фонов. Действительно, если даже, как это чаще всего и бывает, вызванное болезненным очагом двигательное расстройство не ограничилось узким списком движений одного уровня, а отразилось почти без изъятий на всей моторной сфере больного, то и в этом случае всегда возможно либо установить, что в страдание фактически вовлечены анатомические субстраты или проводящие пути всех координационных уровней, либо же убедиться в том, что различные движения пострадали *да-и-же* не одинаковым образом и не в одинаковой мере, с выпуклой избирательной специфичностью, подчас уже теперь доступной яркому и ясному истолкованию.

Специфические признаки, в которых мы нуждаемся для возможности уверенного практического приложения теории координации как к патологии, так и к норме, должны обладать безусловной *избирательностью* по отношению к отдельным уровням построения и при этом должны обеспечивать ответы на три вопроса:

1. *Каков ведущий уровень* данного двигательного акта, определяющий содержание практического приложения теории координации как к патологии, так и к норме, должны обладать безусловной *избирательностью* по отношению к отдельным уровням построения и при этом должны обеспечивать ответы на три вопроса:
2. *Каков уровневой состав* данного акта, т. е. какие уровни фигурируют в существенной мере в его двигательном составе, каковы их относительные пропорции и удельные веса во всем акте в целом и в его цепных сукцессивных компонентах?

3. *Какая деталь, сторона или компонента движения: какому фоновому уровню она обязана своим существованием?*

36. Дан фоновый уровень: *какие из деталей* или сторон наблюдаемого движения обуславливаются и ведутся этим уровнем?

И Эти основные для суждения о нормальном движении вопросы легко переформулируются и применительно к патологии. Цель всех их по отношению как к нормальной, так и к

319

патологически измененной моторике и практическая польза, приносимая анализом построения двигательного акта, в возможности выработки рациональных путей и приемов для трудовой и спортивной педагогики, для трудо- и кинетотерапии, лечебной физкультуры и т. п. и в возможности суждения о том, где, как и каких именно следует искать ресурсов для создания целительных викарриатов и субституций. Цели их же для нервной клиники — в облегчении и уточнении топической диагностики очаговых поражений; в содействии тому, к чему стремится всякое увеличение чувствительности и точности методом исследования больного — ранней диагностики, резко повышающей шансы на его исцеление; наконец, в создаваемой ими возможности дифференцированного изучения динамики викарриатов и компенсаций после остро возникшего очагового заболевания, что представляет большой научный интерес.

Мы не будем касаться здесь признаков (может быть, наиболее перспективных в будущем), опирающихся на физиологическую специфику нервного процесса по каждому из уровней построения: на особенности протекания эффекторных «залпов» возбуждения, характеризующиеся поведением биоэлектрических потенциалов мозга и мышц, на изменения показателей тканевой и синоптической возбудимости, на взаимоотношения эффекторного процесса с деятельностью вегетативной нервной системы, с гуморальной составляющей и т. п. Все это — вопросы, находящиеся в настоящий момент еще в самой зачаточной фазе исследования.

Изложение наших исследовательских материалов по этим вопросам составит предмет особой, подготавливаемой сейчас к опубликованию работы. Здесь мы ограничимся описанием признаков, доступных безаппаратурному наблюдению в гимнастическом зале, в консерваторской келье или у постели больного. Часть таких признаков обнаруживается уже при простом наблюдении спонтанного двигательного поведения субъекта; другая — выявляется при проведении тех или иных испытательных проб.

Как уже было указано в гл. VI, мы различаем в каждом двигательном акте его смысловую структуру и его двигательный состав. *Смысловая структура*, непосредственно вытекающая из содержания двигательной задачи и, в свою очередь, вполне определяющая адекватное последней синтетическое сенсорное поле, может рассматриваться как наиболее солидный источник для суждения о *ведущем уровне построения* данного акта. О фоновом уровне составе, т. е. о построении движения в полном объеме этого понятия, смысловая структура по большей части не содержит выразительных указаний.

Двигательный состав акта, по крайней мере при грубом, макроскопическом наблюдении простым глазом, наоборот, мало характерен для решения вопроса о ведущем уровне, поскольку (как мы видели выше, начиная с гл. II) движения, зачастую очень сходные по своему внешнему облику, могут протекать на самых различных уровнях построения. Правда, более тонкий (например, циклограм метрический) анализ двигательного состава может вскрыть некоторые уровневые особенности и различия в таких одинаковых с виду движениях, потому что разные качества сенсорных коррекций ведущего уровня, естественно, придают движениям каждого из уровней построения несколько иное оформление.

Ответы на второй и третий из сформулированных выше вопросов дает двигательный состав, и признаки, описываемые в настоящей главе, как раз способствуют его анализу. Какие технические фоны, какими темпами, в каком порядке и с какой степенью адекватности сумел привлечь субъект к решению вставшей перед ним задачи; в какой степени эти фоны сумели сработаться совместно, какую форму и степень автоматизации обеспечить; наконец, какую меру устойчивости против деавтоматизации под действием тех или других сбивающих влияний смогла создать для них центральная нервная система? Для ответа на все эти вопросы и должны

быть найдены достаточно надежные и объективные критерии.

Среди признаков для аналитического суждения о двигательном составе и его расстройствах одни относятся главным образом к двигательной патологии и применимы вне ее только в случаях временных функциональных нарушений: при переутомлении, интоксикации и т. п. Другие признаки применимы в равной мере как к случаям болезненных расстройств двигательной сферы, так и к полноценной норме, обладая, таким образом, наибольшей экстенсивной универсальностью. Мы начнем обзор с первых.

Каждый четко очерченный, остро возникший очаг в центральной нервной системе с неосложненным течением (выбираем для начала эту наиболее ясную ситуацию) обуславливает определенные сдвиги во всех проявлениях жизнедеятельности. Правильнее сказать, что такой очаг создает даже не явления, а определенным образом измененные по сравнению с нормой русла, или рельсы, для протекания явлений. Как правило, задача клинициста состоит в диагностической индукции; он должен в своих заключениях идти от доступных его наблюдению явлений к в'завшей их причине, очагу и его свойствам. Среди этой-то массы явлений он должен стремиться найти *патогномоничные признаки*, т. е. явления наиболее выразительные и специфичные для затронутых уровней.

Сложность синдромов зависит, конечно, от огромного многообразия причин, определяющих измененное протекание явлений.

Явления определяются прежде всего *топикой* очага, т. е., точнее говоря, вовлеченным в очаг органом или функциональной системой мозга; здесь играет, кроме того, роль протяженность очага и его соматотопические свойства, если очаг помещается в одной из проекционных систем центральной нервной системы. Далее, при данной топике направле-

ние русла явлений связано со *знаком и характером* очага. Он может обусловить в одних случаях *гиподинамические* явления: угнетение, гипофункцию и полное выпадение; в других случаях он может дать картину гипердинамики, выражающейся либо в количественной ирритации органа, его гиперфункции, либо также в приводящих качественных извращениях. Дальнейшие осложнения потока явлений обуславливаются характером *взаимоотношений очага с другими органами и системами* мозга. Он может оказать то или иное (возбуждающее или угнетающее) влияние на топически смежные с ним отделы мозга, как пожар, перебрасывающийся на соседние здания, или на отделы системно смежные, обладающие с пострадавшим отделом синаптическими связями через проводящие пути и могущие территориально отстоять очень далеко от него. Наконец, обращаясь к координате *времени*, мы должны учесть влияние на картину явлений еще степени *динамичности* очага (единовременная асептическая травма без последующего процесса, медленно развивающаяся гумма, горячий, бурно разрастающийся абсцесс и т. д.) и его свежести или давности, т. е. того, насколько далеко успели развиться процессы компенсации и विकарного замещения выпавших отправлений. Во всем этом хаосе причинных зависимостей, осложненном еще тем, что каждый из этажей и уровней центральной нервной системы, несомненно, несколько по-своему реагирует на эти причины и влияния, не так легко установить какой-либо систематизирующий порядок.

Стремясь получить в качестве признаков явления с максимальной уровнем избирательностью, мы должны учесть еще одну переменную — *местонахождение очага на протяжении рефлекторного кольца*. Если исключить поражения периферических смешанных нервов, ведущие к выпадению *концевого исполнительного органа, а не двигательной функции*, то, схематически говоря, останутся пять возможных локализаций поражения на рефлекторном кольце данного уровня (рис. 95): 1) центральный афферентный путь (в спинном мозгу); 2) сенсорное (афферентационное) ядро уровня;

3) центральные замыкательные системы; 4) эффекторное ядро уровня; 5) эффекторный цереброспинальный путь.

Общий принцип зависимости явлений от места на протяжении кольца может быть выражен таким правилом. Чем очаг поражения ниже (ближе к периферии), тем отчетливее проявляется избирательность нарушений по отношению к периферическому органу или области тела и тем она слабее выражена по отношению к контингенту нарушающихся движений. Справедливо и обратное положение: чем выше (нейтральнее) локализован болезненный очаг, тем нарушения избирательнее по отношению к контингентам движений и тем они обобщеннее по отношению к периферическим органам.

Так, например, поражения в пункте 1 (см. рис. 95) охватывают всю первичную, сырую сигнализацию данного периферического рецептора до ее переработки и синтеза в сенсорные поля совместно с другими рецепторными качествами. А участвует эта первичная сигнализация почти во всех полях координационных уровней, поэтому и нарушение движений происходит почти по всем уровням, лишая признак выпадения какой бы то ни было избирательности. Так создается, например, синдром табетической атаксии в результате перерождения задних столбиков спинного мозга, несущих в норме всю проприоцептивную и почти всю осознательно-болевую сенсорную сигнализацию. С обоими этими рецепторными качествами, как это было показано в гл. III—V, intimately связаны уровни *A*, *В* и *C*, откуда и получается весь широко известный комплекс заднестолбовой атаксии. По подуровню *C2* (идя сверху) получается распад пространственной точности движений, меткости попадания, дозировки целевого усилия и т. д. По линии подуровня *C1* создается расстройство локомоций и всех тех движений ошупывания и обвода, которые были причислены к этому подуровню в гл. V. От выпадения кооперации того же подуровня *C* с уровнем *L* возникает расстройство равновесия, астазия (симптом Rhombeg). Таламо-паллидарный уровень синергии, особенно тесно связанный с проприоцепторикой,

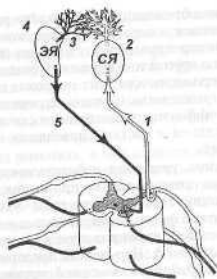


Рис. 95. Схематическое изображение точек поражения на протяжении рефлекторно-координаторного уровня

отключается на выключение ее сигналов распадом того владения реактивной динамикой, которое составляет его сильную сторону в норме; утрачивается какая бы то ни было возможность динамически устойчивых движений. Наконец, выключение уровня *L* само по себе создает уже упоминавшиеся в гл. III проявления его гиподинамии: интенционный тремор как выпадение реципрокной иннервации и денервации, гипотония как выпадение рефлекторной тонизации и гиперметрия как разрушение механизмов своевременного поочередного включения антагонистов при циклических движениях. Если еще прибавить к этому деавтоматизацию движений во всех уровнях, особенно в предметном уровне *D*, обусловленную разрушением всех фонов, опирающихся на проприоцепторикой, то общая картина двигательного расстройства, не теряя ничего в своей характеристике, оказывается действительно огульной по отношению почти ко всем без исключения видам двигательных актов. / •

Столь же всеобъемлющими по охвату разрушающихся движений являются и поражения *спинальных эффекторных нейронов*, например пирамидного нейрона (к чему мы еще вернемся ниже с другой точки зрения), создающие зато при прекращении проводимости этих нейронов недостижимость совершенно определенных и резко ограниченных мышечных групп для эффекторных импульсов самого разнообразного происхождения и состава, исходящих от всех кортикальных уровней.

Таким образом, уровневая избирательность симптомов имеет место, как правило, только при очагах, локализованных на рефлекторном кольце в пунктах 2—4 (см. рис. 95).

Наиболее четкие формы избирательных нарушений возникают при местонахождении очагов в центральных афферентационных ядрах (2). Нарушения представляют собой в этих случаях *расстройства в смысловой структуре* или содержания двигательных актов данного уровня, т. е. в их наиболее существенных и трудно возместимых сторонах. Здесь может быть отмечена одна характерная зависимость между *высотой* пораженного уровня построения и *восстановимостью* пострадавших движений.

Чем ниже в иерархии уровней стоит пораженный уровень, тем труднее разделение у дербов, связанных с нарушениями в области двигательного состава, и, наоборот, тем легче возмещение тех ущербов, которые обусловлены нарушениями в области смысловой структуры движений. Для верхних уровней справедливо обратное утверждение.

Для пояснения этого положения нужно принять в расчет, что смысловая структура всегда полностью обеспечивается ведущим уровнем данного движения. Возместить движение, утраченное вследствие выбытия из строя его ведущего уровня *P*, — значит суметь воспроизвести на *вышележащих уровнях* смысловую структуру выпавшего движения. Чем выше разрушенный уровень, тем меньше остается над ним ресурсов для такого суррогатного воспроизведения и, наоборот, тем больше имеется к нему уцелевших уровней, при-

годных в той или иной мере для возмещения его фонового двигательного состава. Наоборот, воспроизведение несложной смысловой структуры движений, посылных низовым уровням, ступеньвается по трудности перед гораздо тяжелее вознаграждаемыми потерями со стороны двигательного состава, сопровождающими разрушение низовых уровней, малопластичных и в то же время высокоспецифичных по качеству и составу своих коррекций.

Необходимо пояснить, в чем отличия нарушений смысловой структуры от нарушений двигательного состава. Нарушение смысловой структуры выражается в неадекватности осуществленного двигательного решения смыслу поставленной перед пациентом задачи независимо от того, понимает ли субъект неудовлетворительность своего решения или нет. Решение, не достигающее или плохо достигающее требуемого результата из-за моторных, координационных дефектов, но не искажающее смысла возникшей задачи, есть случай нарушения двигательного состава при интактности смысловой структуры. В действительности, к сожалению, далеко не всегда легко распознать, с которым из двух дефектов мы имеем дело. Наиболее отчетливо разграничиваются между собой обе формы при расстройствах выполнения смысловых цепей в уровне действий *D*.

После сделанных ограничений и оговорок мы можем подойти непосредственно к патогномическим признакам уровней, естественным образом группирующимся в два ряда. К первому из них мы отнесем явления *гиподинамии*, т. е. понижения функции, начиная с явлений ее полного выпадения и кончая явлениями сбиваемое™, т. е. пригодности нервного аппарата для вполне нормальных отправлений, но не иначе, как при условии особой бережности к нему, устранении каких бы то ни было помех или осложнений, уже разрушительных для функции с такой повышенной ранимостью. На противоположном полюсе окажутся явления *гипердинамического* порядка, обуславливаемые перевозбужденным состоянием заболевшего или вторично втянутого в бо-

лезненный синдром центра. К этому гипердинамическому разряду отойдут прежде всего количественные проявления ирритации, сказывающиеся в виде повышения возбудимости или же увеличения размаха, быстроты, силы движений и т. п. Гипердинамическое состояние уровня может проявиться затем в виде перепроизводства спонтанных движений, лишних по существу, т. е. не решающих никакой задачи ~и лишенных целесообразной законченности в их двигательном составе: это будут *гиперкинезы* всяких видов, включая одну из их частых разновидностей — треморы. Если лишние движения возникают не сукцессивно, а симультанно, то они превращаются в *синкинезии*, отличающиеся нами от синергии и синдинамий или содружественных движений (соответственно напряжений) именно по их ненужности. Статистической разновидностью синкинезий являются всякого рода непроизвольные иррадиированные перенапряжения, как тонические, так и тетанические, вроде, например, известного *gus sardonius* при тетании. Наконец, очень частой разновидностью гипердинамических проявлений, дающей, особенно для более высоких уровней, ряд очень выигрышных избирательных признаков, являются *гипердинамические персеверации* движений, т. е. потеря возможности прекратить по произволу раз начавшийся в двигательной сфере процесс. Наиболее четкие признаки доставляются по преимуществу явлениями выпадения и персеверации. Начнем с первых.

Каждый ограниченный очаг, вызывающий выбытие из строя субстратов одного определенного уровня, обуславливает довольно сложную комплексную картину *избирательно-го выпадения движений*. В сплошном массиве движений, доступных здоровой норме, создаются пробелы, области невыполнимых двигательных отправлений на фоне других, выполнимых как и прежде, или же пострадавших частичным, но вполне определенным образом. Очередной задачей является составление такой *сетки типических комбинаций* двигательных пробелов, патогномоничных для поражений после-

довательных уровней, которая обеспечила бы возможность их безошибочного определения.

При полном выбытии из строя уровня Рте движения, которые велись на самом этом уровне, избирательно выпадают совсем, поскольку выпадают обеспечивающие их у данной особи афферентации. Движения более высоких уровней нарушаются частично, *деавтоматизируются* в большей или меньшей мере в зависимости от того, входил ли выпавший уровень в их фоновый уровеньный состав. Очевидно, качественная картина деавтоматизации двигательных актов верхних уровней является в высшей степени характерной для выпавшего уровня. Движения уровней, лежащих ниже *Р*, могут испытывать после его выпадения *нарушения двоякого рода*. С одной стороны, если субъект успел выработать в этих низовых уровнях автоматизмы для обслуживания двигательных актов уровня *Р*, то с выпадением последнего безвозвратно утрачивается возможность их эйфории, так как вышележащие уровни ($P+1$), ($P+2$) и т. д., на которых с течением времени начинают формироваться викарные замены для этих выпавших актов, как правило, не обладают ключами для вызывания этих автоматизмов, отключавшихся только на вызовы своего уровня-заказчика *Р*. Низовые уровни, не теряя по этой группе причин каких-либо самостоятельных движений, утрачивают многое из своей деятельности в роли фонов. Кроме того, в целом ряде случаев иерархические взаимоотношения между смежными уровнями в центральной нервной системе таковы, что субстраты вышележащего оказывают специфически притормаживающее действие на эффекторы подчиненных им нижележащих. Это-то притормаживающее действие (которое *Foerster* применительно к влиянию *striati* на *pallidum* называет *обуздыванием* последнего) и снимается с выпадением выполнявшего его уровня. Следствием этого оказывается своеобразная форма гипердинамии, в которую впадает высвободившийся низовый уровень и которую уместно было бы, используя метафору *Foerster*, назвать разнуздыванием, *эффренацией*. Такая эффрена-

ция имеет место, например, в рубро-спинальном уровне *A* при паркинсоническом угнетении pallidū или в нем же и в то же время в клетках передних рогов спинного мозга — при выпадении пирамидной системы вследствие капсулярной гемиплегии и т. п.

Нельзя не отметить, что, по крайней мере, в некоторых случаях или у некоторых видов движений (сейчас еще крайне трудно определить необходимые и достаточные свойства этих случаев и видов) все же возможно переключение экфорируемости хотя бы важнейших из исполнительных фонов на уцелевший вышележащий уровень, берущий на себя восстановительные функции для выпавших движений и способный в некоторой мере усыновить их вместе с их фонами. Иногда такое восстановительное переключение легко достигается простым изменением формулировки двигательного задания. Пациент не может поднять по приказанию руку до высоты лба, но тут же легко выполняет именно это движение в ответ на предложение снять (хотя бы воображаемый) головной убор или отдать воинское приветствие. А. Лурия предлагает премоторному больному начертить на бумаге ломаную линию такого вида:

ПАПА

и т. д. Обнаружив его полную несостоятельность, экспериментатор видоизменяет задание, добавив к указанной ломаной линии две лишние черточки

ПАПА

и движение в тот же момент становится возможным. Число примеров можно было бы легко умножить.

Обращаясь к явлениям, сопровождающим очаговые поражения по пунктам 2, 3 и 4 (см. рис. 95) применительно к каждому из уровней построения поочередно, мы первым делом исключим из детального рассмотрения центральные проводниковые поражения по пункту 3. Как всякие явления проводниковых поражений вообще, они очень близки к явлениям поражения соответствующих им ганглиозных ядер, но только *грубее, четче и беспримеснее* последних. Очевидно, проводниковые поражения могут вызывать только а) альтернативные, избирательные *выпадения* и б) синдромы *растормаживания*, эфференции иерархически низших центров и не в состоянии обусловить явлений гипердинамики самого пораженного этажа. Ничего нового в смысле избирательно-специфических уровней симптомов по сравнению с тем, что может быть сказано по поводу очагов в центральных клеточных ядрах, эти проводниковые поражения как будто не дают.

Выпадение *афферентационных систем рубро-спинального уровня A* приводит к картине, очень близкой к известному «мозжечковому синдрому» Luciani — Орбели. На первом месте здесь стоит резкая гипотония, сопровождаемая *нарушениями рефлекторной регуляции тонуса*. Распад того, что мы выше (см. гл. V) характеризовали как примитивный синтез пространства уровня *A*, т. е. вестибулярно(отолитно) -управляемого *тропизма вверх и вниз*, приводит к потере равновесия при стоянии (*астазия*), а в случаях ирритации пораженных центров к прокидываниям, маневренным движениям и т. п. Выпадение важнейших компонент проприоцептивной сигнализации создает явления общего, разлитого нарушения координации, атаксии, поскольку выпадение фонов из *A* грубо деавтоматизирует движения всех вышележащих уровней. Наконец, подчеркнутая уже в гл. III тесная связь субстратов уровня *A* с вегетативной нервной системой, общение которой с центральной нервной системой почти полностью осуществляется именно через субстраты этого уровня, ведет в результате разрушения афферентаций уровня *A*

ть их, как не имеющих прямого отношения к моторной сфере.

Однако возможность тяжелых и разнообразных болевых ощущений (например, гиперпатии), встречающихся при заболеваниях thalami, побуждает упомянуть здесь, что *ощущения боли*, все равно, периферического или центрального происхождения, если они появляются при определенных позах или элементах движений, *создают особый класс коррекций*, который можно назвать *анталгическими*, или *противоболевыми*, коррекциями. Этого рода коррекции, к которым пациент непроизвольно, почти рефлекторно, прибегает, оберегая свой больной орган от болевых ощущений, способны очень сильно искажать правильную координацию, создавая иногда у наблюдающего ложное впечатление о наличии органических координационных нарушений. Распознать анталгические нарушения и отличить их от истинных расстройств координации возможно (даже не прибегая к показаниям больного, которые могут быть недостаточно объективными) по тому признаку, что, точно выполняя правило об оглулости периферических нарушений к контингентам движений и избирательности их к периферическому органу, анталгические коррекции легко выдают свою точную периферическую локализацию, обладая в то же время легкой дифференцируемою от органических периферических нарушений подвижности или двигательной активности. *Диффузные боли* центрального происхождения не могут, конечно, приводить к каким-либо регулярным картинам анталгических коррекций.

Болезненные очаги в *эффекторном ядре* уровня синергии — pallidum — дают Б преобладающем числе случаев синдромы гиподинамии. Выпадение отравлений pallidi дает вторую половину симптоматики паркинсонизма: общую асинергию амиимию как одно из проявлений разрушения «триады», скованную бедность и скудость движений, смену их ритмической плавности на скандированность и угловатость. Выпадают навыки динамически устойчивых дви-

жений и их фонов; в циклограмметрических кривых исчезают противозначные «переливы» напряжений, заменяясь характерной для гипертонической скованности однозначностью по типу первой стадии развития навыка (та. VIII). Как уже упоминалось раньше, расстраиваются ритмизирующие фоновые перешифровки для движений уровня пространственного поля. Резко падает, наконец, процент непроизвольных движений и компонент; произвольные же совершаются очень скупо в связи с ослаблением инициативы. Часто встречаются и персеверативные осложнения — пропуски, ретропуски, уже упоминавшаяся «персеверация позы» — катептоидность и т. д. Для большей ясности изложения мы перенесем описание персеверативных явлений по всем уровням в особый раздел ближе к концу этой главы.

Гипердинамические формы импульсаций pallidi обычно принадлежат к эфферентационному типу и обязаны своим возникновением выпадению тормозящего, обуздывающего действия striati. Эти формы очень разнообразны, но еще сравнительно мало изучены. Здесь встречается во всем своем богатстве полное содержание каталога гипердинамических проявлений: и гиперкинезы, и синкинезии, и персеверации, и бесчисленные виды навязчивых движений. За вычетом динамически устойчивых форм и штампов, которые не могут сформироваться вне нормальных условий упражнения и повторительности, весь остальной арсенал двигательных возможностей таламо-паллидарного уровня проявляется в этих гипердинамических эффектах как непреодолимые, уродливые синергетические слепки или обломки движений. Мы не будем анализировать здесь ближе дифференциально-диагностических различий между синдромами атетоза, хорей, торзионного спазма и др., которые все сводятся в своей основе к явлениям гипердинамии pallidi (см. рис. 33); укажем здесь только, что наблюдаемые в этой группе синдромов различия клинических картин зависят в большей мере от взаимоотношений основного факта — перевозбуждения pallidi — с дисфункциями других, смежных уровней, нежели от

различий в патофизиологическом характере самого этого перевозбуждения. Так, например, синдром атетоза связан с гипердинамическим состоянием рубро-спинального уровня, а синдром хорей — с нормальным или даже с гиподинамическим; в картину торзионного спазма входят наряду с перевозбуждением pallidi еще и явления общего разлитого гипердинамического состояния всей экстрапиримидной эффекторной системы и т. д.

Деафферентация уровня пространственного поля С вряд ли возможна при каких бы то ни было обстоятельствах в чистом виде. Мы так и не знаем пока, существуют ли где-либо в коре концентрированные участки, которые можно было бы считать «центрами» сенсорного синтеза пространственного поля; включения же как первичных, так и вторичных кортикальных полей отдельных видов чувствительности дают всегда картины изолированных выпадений этих сенсорных качеств, заставляя еще с соматотопической ограниченностью дефекта. Наконец, более или менее суммарный выход из строя важнейших сенсорных компонент «пространственного поля» вследствие перерыва где-либо ниже коры: в системе зрительного бугра или проводящих путей спинного мозга, приводит, как уже упоминалось, к поражению целого ряда уровней, начиная с *В* или даже с *4*. Очень вероятно, что постоянный до настоящего времени неуспех поисков синтетического центра «пространственного поля» в коре (как бы его ни называть) обусловлен *очень высокой компенсируемостью* одних компонент пространственного поля другими, чем и объясняется упомянутая выше неосуществимость исключения этого синтеза в целом и притом в чистом, изолированном виде. Расстройства восприятия и осмысления пространства, называемые астереогнозами и имеющие определенные известные локализации в коре головного мозга, являются (поскольку это уже «гнозы») нарушениями смыслового, топологического восприятия пространства в уровне действий *Dn* поэтому сюда не относятся. * * *

^^ Если идти не от очагов (которых для данного случая не удастся указать), а от координационных выпадений, то можно, наоборот, очень легко охарактеризовать, что следует отнести за счет уровня *С* в сложных формах координационных нарушений, так или иначе вызываемых расстройствами пространственнообразующих афферентаций. Все компоненты этого рода входят в синдромы различных разновидностей *атактии*. От уровня пространственного поля в эти синдромы входят потери точности и меткости движений, их силовой дозировки, управления своевременностью включения, скоростью и темпом движений по верхнему подуровню *С2и* нарушения общего «владения пространством», сказывающиеся в распаде локомоций, по нижнему подуровню. Поскольку на долю уровня пространственного поля выпадет наибольшая часть точных и мелких ручных целевых манипуляций (в виде либо самодовлеющих движений, либо автоматизмов для уровня *О*), постольку именно к его афферентационным, атактическим нарушениям вернее всего подходит ощущение пациента, что «руки его не слушаются». Эта непослушность рук может, но не обязана сопровождаться тем или иным их тремором, являющимся всегда уже приходящим, фоновым образованием в нижележащем уровне *А*. «Непослушность руки» и как своеобразное ощущение, и как объективный факт, резко снижающий качество и темповую продуктивность точных движений, обязательно сопровождается тактильно-проприоцептивную деафферентацию руки любого происхождения, так что в умеренном и скоропреходящем варианте хорошо знакома каждому, имеющему дело с точными работами, как следствие отлаженности, заспанности, переохлаждения руки и т. п.

Выпадения в *эффекторном разделе уровня С* нуждаются уже в целой классификации. Гиподинамии striati, сопровождающиеся разнудыванием тал амо-палл ид арной системы, были уже упомянуты выше. *Выпадения пирамидного звена* дают, как известно, существенно разные явления в зависимости от того, вовлекаются ли в поражение одни только ги-

гантопирамидальные нейроны Беца (например, при гемиплегиях за счет кровоизлияний в белом веществе *capsulae internaе* мозга) или вся пирамидная кора в целом со всеми ее слоями (например, при огнестрельных ранениях, абсцессах и т. п.).

Уже было упомянуто, что пирамидный нейрон и экстрапирамидные нейроны рубро-спинального (и вестибуло-спинального) тракта оказывают на клетки передних рогов спинного мозга взаимно противоположное действие *по нас/ни тонуса*. Точнее этот антагонизм может быть сформулирован так: *импульсация группы красного ядра повышает все виды тонуса, как упругий, так и вязкий; пирамидная импульсация оказывает угнетающее, тормозное действие преимущественно на упругий тонус; оставаясь нейтральной к вязкому.*

В норме взаимно противоположные влияния рубро-спинальной и пирамидной системы дополняют и уравнивают друг друга. *Выпадение пирамидного нейрона*, угнетавшего эластическую составляющую тонуса, приводит сразу к эфренационному повышению этой составляющей — к эластической, или, как ее чаще называют, *спастической, гипертонии*, постоянно сопровождающей описываемую сейчас капсулярную гемиплегию. Очень характерно, что подскок эластического тонуса, создаваемый перевесом *непострадавшего* красного ядра, не растекается с обезличенно-одинаковой силой по всем мышцам, а сохраняет всю субординационную физиономию, свойственную рубро-спинальному уровню. У человека гемиплегическая гипертония поражает избирательным порядком; на руке — флексоры, на ноге — экстензоры (так называемая поза Wernicke-Mann) — те самые мышечные системы, которые в норме характеризуются более короткой субординационной хронаксией, т. е. более высокой возбудимостью.

Описываемая эластическая гипертония часто сопутствуется еще особым, упругим, видом *тремора* — так называемым клонусом, реактивно возникающим как своеобразная

персеверация сухожильного рефлекса на гипертонизированных мышечных группах.

Интересно, что другой вариант перевеса группы красного ядра над пирамидной системой — случай, когда эта последняя работает нормально, но зато рубро-спинальный уровень находится в состоянии перевозбуждения, например паркинсонический синдром, приводит опять-таки к *гипертонии*, но носшей уже совершенно иной характер. Группа красного ядра в своем перевозбуждении стремится повысить все виды тонуса, но нормально работающая пирамидная система препятствует этому в отношении эластического тонуса, и рубро-спинальному уровню ничего не остается, как повышать одну только вязкую, ригидную составляющую. Общая разлитая гипердинамия приводит на этот раз к такому же общему и разлитому подъему *вязкого тонуса*, уже не делающему различий между агонистами и антагонистами, как это хорошо известно по поводу картины паркинсонической ригидности.

Попутно упомянем, что теперь мы дошли и до рационального объяснения *гипотонии, сопровождающей выпадение функции уровня А*. Эта гипотония, сопровождающаяся преимущественно упадком эластической компоненты, обуславливается угнетающим действием именно на эту компоненту пирамидного нейрона, не встречающего более противодействия со стороны выпавшего *n.rubri*.

Выпадения подуровня *C2*, вызываемые капсулярными перерывами пирамидного пути, в большой мере маскируются и заглушаются охарактеризованными выше грубыми расстройствами тонуса и выпадением (в начальных стадиях) всей произвольной моторики, присущими гемиплегии. В процессе последующих приспособительных компенсаций с приближением конечной, или резидуальной, стадии, когда полупаралич переходит в гемипарез, избирательные выпадения проступают яснее. Вся полунепроизвольная моторика уровня синергии *В* постепенно восстанавливается, поскольку ей не препятствуют паретические состояния мышц; дви-

гательные акты из уровня действий, имеющего и в норме выход на экстрапирамидную эффекторную систему наряду с пирамидной системой, мало-помалу возрождаются, переключая на экстрапирамидную эффекторную систему и некоторые из фоновых координации, ранее совершавшихся на пирамидном подуровне. Разумеется, с восстановлением мелких точных движений дело обстоит хуже. Заслуживает внимания, что вполне произвольные чисто экстрапирамидные движения нередко оказываются возможными даже в начальных стадиях глубокого паралича конечности.

По мере развития восстановительных компенсаций процент произвольных движений больной стороны в общем моторном обиходе пациента все возрастает, и сглаживание дефекта может под конец зайти у человека очень далеко. У мелкопитающих, даже у обезьян, вследствие меньшего у них удельного веса пирамидной эффекторной системы по сравнению с экстрапирамидной эффекторной системой экспериментальные перерезки пирамидного пути, как правило, дают довольно быстрое и абсолютное полное восстановление движений исключительно за счет компенсаций, так как сам пирамидный путь никогда не регенерирует.

Отличия пирамидных расстройств, вызываемых *кортикальными очагами*, от вышеописанных калюлярных приводят к необходимости нескольких обобщенных замечаний об особенностях явлений при очагах в кортикальных эффекторных центрах. Прежде всего нужно отметить, что в то время, как чисто афферентационные ядра, вне всякого сомнения, встречаются и в коре, и под корой больших полушарий, все так называемые эффекторные кортикальные поля относятся к числу образований смешанных, содержащих клетки как центробежных, так и центростремительных нейронов. Может быть, это является одной из причин менее четких и выразительных явлений координационного выпадения при очагах в этих пунктах по сравнению с афферентационными ядрами. Отметим следующие факты.

Поражения в эффекторном центре обуславливают нарушения *всегда в двигательном составе* моторного акта, лишь редко и отраженно задевая его смысловую структуру. Нарушения по линии двигательного состава затрагивают либо те движения и их компоненты, которые прямо связаны с самим пораженным уровнем, либо те двигательные компоненты из фоновых уровней, которые в норме экфорируются, вызываясь к действию данным эффекторным ядром пострадавшего уровня. Так, например, очаговые поражения премоторных полей коры, являющихся эффекторными центрами уровня действий *D*, не вызывая никаких параличей или нарушений элементарной активной подвижности, дают картину резкого и обобщенного расстройства фонового двигательного состава действий, т. е. их деавтоматизацию, при сравнительной сохранности их смысловой структуры, что так характерно для кинетических апраксий Kleist. Так называемая моторная афазия (двигательное расстройство речи), связанная с анатомическим очагом в левом полушарии, в поле Вроса, представляет полную гомологию с только что упомянутым синдромом. При моторной афазии нет ни параличей мышц языка и гортани, ни снижения объема, силы, скорости, даже точности движений языка; целы и все произвольные движения языка, и акты жевания, глотания, сплевывания и т. д., а артикуляция речевых звуков утрачивается, т. е. выпадают *все речевые фоновые автоматизмы*. При очагах в *пирамидном поле коры*, характеристика которых как раз и вызвала необходимость в этом обобщающем отступлении, явления расстройства движений включают как пирамидные, так и экстрапирамидные симптомы, что, несомненно, говорит о наличии у пирамидного подуровня в норме экстрапирамидных фонов, возможность экфории которых по вызову с пирамидной коры пропадает при возникающих в ней очагах. Эта смесь пирамидных и экстрапирамидных симптомов представляет собой одно из выразительных отличий кортикальной гемиплегии от проводниковой, капсулярной. Другим подтверждением этого же факта смеси фонов может

служить то, что кортикальные гемиплегии очень часто не связаны со спастической гипертонией. В то время как при капсулярной гемиплегии выпадает одна только пирамидная слагающая, так что рубральная, освободясь от угнетающего антагониста, может в полной мере развернуть картину гипертонии, при кортикальном очаге впадают в гиподинамическое состояние оба антагониста, как пирамидный, так и экстрапирамидный, вследствие чего ни у одного из них не может возникнуть ощутимого перевеса.

По поводу деавтоматизаций, обязанных своим возникновением нарушению экфории вследствие очага в эффекторном центре, следует сказать, что есть очень удобный путь для отличия деавтоматизаций, вызванных распадом какого-либо фонового уровня, от деавтоматизаций, обусловленных нарушением экфории из эффектора ведущего уровня. При разрушении какого-либо фонового уровня P (например, уровня синергии при дрожательном параличе) деавтоматизация постигает двигательные акты всех выше его лежащих уровней ($P + 1$), ($P + 2$) и т. д., но при этом *только те* из них, которые обладали фонами из выпавшего уровня P . Если же деавтоматизация возникла вследствие разрушения центра — «экфатора», то она постигает только двигательные акты одного этого ведущего уровня P , но зато по отношению к фоновым автоматизмам всех нижележащих уровней ($P - 1$), ($P - 2$) и т. д.

По поводу очагов в *эффекторных центрах* следует сказать, что для таких очагов характерна обычно *более значительная степень соматотопичности* нарушений, т. е. их отнесенности к более или менее ограниченной области на периферии тела (рука, язык и т. п.), нежели для поражений в афферентационных центрах. Если вспомнить правило зависимости явлений от пункта поражения на протяжении рефлекторного кольца, то можно отметить, что эффекторное ядро каждого из координационных рефлекторных колец (начиная с CS верху) располагается как бы ниже, ближе к периферии тела, нежели соответственное афферентационное.

• Особенность эффекторных центров по сравнению с про-
дниками — их способность создавать при очагах явления
гипердинамии — уже была принята нами в расчет с самого
начала поуровневых характеристик синдромов.

Явления очаговых нарушений в двигательной сфере, обусловливаемые поражениями субстратов *уровня действий D*, были уже указаны в гл. VI, посвященной характеристике этого уровня. Резюмируя, скажем, что болезненные очаги в кортикальных полях, связанных с этим уровнем, дают клинику *апрактических расстройств* с их основным подразделением на группы: 1) афферентационные, или гностические (*Bleptmann*), и 2) эффекторные, иначе кинетические, или премоторные, апраксии (*Kleist*). Обе группы относятся к разряду гиподинамических нарушений с характером выпадения. Картины перевозбуждения, гипердинамии в премоторной системе, кроме кратковременных состояний раздрации, встречающихся в первые дни после ранения или операционной травмы и большей частью мало выразительных вследствие их иррадиированности, оформляются уже не как апраксии, а как навязчивые гиперкинезы персереверативного типа. О своеобразных сочетаниях гипо- и гипердинамических явлений, какими являются *персереверации*, как раз в этом уровне очень частые и характерные, будет сказано при описании персеревераций по всем уровням, к которому и переходим.

Персереверация — это утрата возможности прекратить по произволу разначившийся в двигательной сфере процесс, когда смысловая сторона задачи уже исчерпана и не требует более его продолжения. Мотивы как начала, так и завершения двигательного процесса в норме всегда содержатся в афферентации его ведущего уровня. Персереверация возникает тогда, когда перестает действовать сигнализация от ведущей афферентации к эффекторным приборам уровня, выключающая процесс за его смысловым исчерпанием. Это может случиться: 1) либо потому, что перестал работать сам афферентационный механизм концевой выключения, 2) либо потому, что концевая выключительная сигнализация существует, но

не в состоянии преодолеть инерцию гипердинамически разогнавшегося эффекторного процесса. В обоих случаях эффекторы и экфаторы ведущего уровня, упорствуя, продолжают работать, фоновый двигательный состав процесса беспрепятственно реализуется, и пациент иногда лишен какой-либо возможности затормозить его.

Исходя из сказанного подразделение, можно обозначить, обе разновидности персевераций соответственно как сенсорную, или гиподинамическую, и *эффекторную*, или гипердинамическую, персеверации; нельзя, впрочем, отрицать существования и смешанных форм.

От персеверации необходимо отличать «заселкивание», или «застревание» (*Sperrung*). «Застревание» — выход из строя того механизма, который в норме по окончании двигательного акта освобождает общий двигательный путь для реализации следующих актов, как телефонистка отключает абонента, с которым мы кончили говорить, освобождая этим наш телефон для других разговоров. При «застревании» двигательный акт сам по себе не проявляет тенденции к затягиванию, как при персеверации, но все последующие раздражения, на которые он уже не является адекватной реакцией, вызывают его вновь и вновь. Различия между персеверацией и «застреванием» уясняется лучше всего из нижеследующего примера.

Если в ответ на задание начертить крестик, пациент заполняет крестиками весь лист бумаги и не может остановиться — это персеверация. Если же, верно исполнив задание нарисовать крест, пациент вслед за тем упорно чертит по крестике в ответ на все последующие задания изобразить круг, квадрат и т. п., то обнаруживаемый им дефект — «застревание». Можно сказать, что персеверация — это нарушение эффективной работы *концевых выключателей* уровня, тогда как «застревание» — выход из строя его *переключающих механизмов*. Явление «застравания» в высших уровнях очень близко подходит к симптому кататонической стереотипии и в этих случаях, как правило, свидетельствует о более глубо-

ком нарушении психической деятельности, нежели персеверирование.

Персеверации дают много выразительных по их избирательности уровневых признаков, по-видимому, по следующей причине. Как и ранее рассмотренные виды очаговых нарушений, патологические персеверации избирательно захватывают те или другие контингенты самостоятельных или фоновых двигательных отправлений, не задевая прочих; но при этом и сами по себе те своеобразные механизмы конечного выключения, которые перестают действовать при возникновении персевераций, обладают рядом особенностей по различным уровням, отличающихся друг от друга. Можно сказать, что в зависимости от локализации и характера очага пациент персеверует и не в том, и не так, как это было бы при иных очагах. Не приходится скрывать, что в этой области невросемiotики пока имеется еще немало белых пятен.

Идя снизу вверх, как и раньше, мы встречаемся с бесспорным проявлением патологической персеверации в точном значении термина в самих мотоневронах, т. е. ниже всяких церебральных уровней построения. Это *клонусы мышц*, обнаруживающих в норме сухожильные рефлекс: при наличии спастического, гипертонического пареза рефлекторный ответ икроножной мышцы или четырехглавой мышцы бедра на раздражение рецепторов их веретен и сухожилий не исчерпывается однократным сокращением, а разветвляется в целую ритмическую серию, в которой каждое очередное сокращение оказывается на фоне общего перевозбуждения клеток переднего рога достаточным раздражителем для вызова следующего. Это, следовательно, эффекторная персеверация, как мы определили ее выше.

В низовом *рубро-спинальном уровне А* при различных клинических формах могут иметь место персеверации обеих разновидностей. Наблюдаемый почти постоянно в случаях *гиподинамии* уровня красного ядра симптом *гиперметрии* движений, их чрезмерности, перелета через цель есть несомненное явление персеверативного порядка, возникающее из-за

отсутствия своевременного включения останавливающих движения мышц-антагонистов, т. е. из-за ослабления или выпадения миотатического рефлекса растяжения (*miotati*¹ или *stretch-reflex*). Гиперметрический симптом, непосредственно обусловленный нарушением проприоцептивной сигнализации, относится, следовательно, к группе сенсорных персевераций. Необходимо упомянуть, что этот симптом, очень часто сопутствующий вместе со всем комплексом явлений гиподинамии уровня *A* картине атактического расстройства уровня пространственного поля, обычно ошибочно относят к самому синдрому атаксии; на самом деле он, как и интенционный тремор, является всегда не более как его косвенным, хотя и нередким, фоновым спутником.

Обратная, *гипердинамическая*, фаза рубро-спинального уровня *A* также имеет в числе своих симптомов персеверативные явления. Уже при характеристике патологии уровня *A* в гл. III было сказано, что экстрапирамидная, рубральная ригидность часто переходит в состояния каталептоидной, так называемой восковой гибкости (*flexibilitas cerea*). Так как поза есть частный случай движения (текущего с нулевыми скоростями точек), то, несомненно, имеющая место в этих случаях невозможность для больного произвольно изменить приданное ему положение тела есть «персеверация позы»; в какие бы клинические синдромы она ни входила, эта форма персеверации всегда точно патогномонична для гипердинамии уровня *A*. Механизмы этой разновидности близки к прямой противоположности с таковыми при гиперметрии: там проприоцептивные рефлекторные отклики на растяжения мышц запаздывают и оказываются слишком слабыми; здесь они же возникают преждевременно, вызывают преувеличенный по силе эффект и «схватывают», как застывающий бетон, любую приданную пациенту позу.

Интересно, что противоположность, которая была выше отмечена между механизмами и характерами гипертонии, возникающей в мотонах: а) за счет выпадения пирамидного звена и б) за счет гипердинамии *p. rubri*, снова всплывает и

здесь, приобретая еще более яркую окраску качественного различия. Тот же по сути механизм сухожильного проприоцептивного рефлекса, появляющегося в ответ на раздражение сухожильных чувствительных окончаний растяжением, попадая на повышенную эластичность мышц, при низких показателях вязкости оформляет персеверацию в виде клоунического, упруго колебательного процесса; сталкиваясь же с преимущественным повышением вязкости (эластичности не дает нарастать сохранившееся воздействие пирамидного нейрона), превращающим мышцу в подобие теста, этот же механизм приводит к тоническому варианту персеверации, говоря языком механики, к своего рода сверхзатухающему колебанию.

Очень характерным феноменом типа «застывания» является в уровне *A* так называемый рефлекс схватывания (*forced grasping*). При малейшем раздражении кожи ладони рука пациента сжимается в кулак, и ему самому никакими усилиями воли не удастся разжать своих пальцев. Наиболее интересным явлением, точнее всего доказывающим принадлежность этого феномена к классу «застывания», оказывается то, что всевозможные другие тактильные раздражения, каковой бы точке тела они не были приложены и какого бы качества ни были, все только усиливают раз возникший хватательный рефлекс, ставший настоящей доминантой и перехватывающий на себя возбуждательную силу всех этих раздражений.

В *уровне синергий* Вкак ведущем очень трудно найти убеждающий пример сенсорных персевераций — может быть, оттого, что в небагатом списке самостоятельных движений этого уровня и в норме много и произвольных, и повторительных движений. Зато в фоновой роли он дает очень четкие персеверации. Поскольку речь идет не о полном выпадении уровня синергии (иначе не могло бы быть речи о персеверации), а о гиподинамическом снижении тонуса его афферентаций, постольку расстройство в целом имеет вид общего упадка как количества, так и масштаба доставляемых им фонов по всем вышележащим уровням — разлитой частичной

деавтоматизации движений во всем, что касается их синергического оснащения. Если при этом выключательные механизмы афферентационного звена уровня ослабели в большей мере, чем его же эффекторы, то может получиться картина *персеверации остатками синергетических фонов*. Это есть явление, которое, не получив одного объединяющего названия, именуется «*пропульсией*», «*ретропульсией*» и «*матеропульсией*» применительно к ходьбе, но распространяется и на многие другие двигательные акты. Больной с синдромом дрожательного паралича (paralysis agitans) обнаруживает явления гипердинамии нижнего экстрапирамидного этажа, рубро-спинального уровня *A*, обусловленные в порядке эфферентации гиподинамией среднего этажа экстрапирамидной эфферентной системы, таламо-паллидарного уровня *B*. Общая гипертоническая скованность больного на фоне полной сохранности связанного с уровнем *A* отолитового аппарата равновесия очень облегчает ему возможность стояния и ходьбы, но крайняя ригидная тугость мышц и обеднение синергий делают ходьбу трудным и утомительным для его нервной системы актом. Тем не менее, будучи подтолкнутым вперед и поставленным в условия неминусовой потери равновесия, если не начнется соответственного переступания, больной *непроизвольно* включается в процесс ходьбы на остатках шагательных синергий и уже более *почти не может остановиться* по произволу. Подобные же персеверации шагания возникают и как следствие подталкивания пациента вбок или назад. Нельзя не отметить, кстати, сходства защитной роли, которую берет на себя при этом синдроме *деавтоматизации* гипертоничность по уровню *A*, с той предохранительной произвольной разлитой фиксацией всех суставов, которая свойственна новичку *до автоматизации* нового навыка в этом же самом уровне синергии (см. гл. VIII).

Персеверации эфферентного типа в уровне синергии, протекающие за счет гипердинамии его эффертора — pallidum, составляют подчас значительную часть тех гиперкинезов всяких видов, которыми изобилуют синдромы хорей,

атетоза, тика и т. п. Очень часто эти гиперкинезы принимают интенционный оттенок: пока больной находится в покое, ему удается до известной степени задерживать эти непроизвольные гиперкинезы, но достаточно ему начать какое-нибудь активное движение, как они немедленно пробуждаются и начинают бить через край. Здесь-то легко и возникают эфферторные персеверации: расшевеленные гиперкинезы повторно воспроизводят предпринятое движение или успешный состояться обломок его начала в изуродованном, окариатуренном виде. Так создаются те гротескные фоны без фигуры, о которых уже была речь в гл. IV. Характеристическая черта как персевераций, так и вообще всяких гиперкинезов уровня синергии — это именно их изуродованность; хотелось бы назвать ее растерянностью сенсорных коррекций. На уровне пространственного поля, к которому мы сейчас обратимся, основная суть коррекций в согласовании двигательного процесса с внешним, объективным пространством. Их нарушения ведут к разлаживанию меткости, направленности, своевременности движений, словом, их целевых взаимоотношений с внешним миром; и патологически измененные коррекции точно знают, если можно так выразиться, в какую сторону и насколько они ошиблись в том или ином случае. При движениях на уровне синергии основная задача коррекций — внутренняя увязка большого целостного движения, согласование его частей с самим собой. Если от глобального движения только и остаются разорванные части, то корригирующий аппарат остается надело лишенным и мотивов, и директив, как и в каком смысле корригировать эти обломки. Отсюда, видно, происходит та моторная анархия, которая более всего характерна для гиперкинетических синдромов этого уровня.

Сензорные персеверации на уровне пространственного поля не редки как следствие кортикальных травм в постцентральной или парietoальной области. При самой простой пробе с бумагой и карандашом больной этого рода на предложение нарисовать кружок отвечает множеством кружков, заполняя

ющих весь лист (на такое же задание больной паркинсоник с явлениями пролулсии нередко реагирует непрекращающимся кружением карандаша по одному месту, дающим в итоге целый клубок). Сходные явления персеверации получают на уровне пространственного поля и при пробе с постукиванием: задача «точка-точка» превращается в нескончаемую последовательность точек или двоек.

Явления сенсорных, гиподинамических perseverаций в уровне С нередко чередуются с явлениями «застревания», легко обнаруживаемыми путем рисовальных проб, подобных той, которую мы использовали в качестве примера при определении понятия «застревание» (рис. 96, 97).

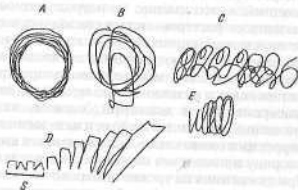


Рис. 96. Персеверативное письмо и рисование больного, у которого в результате кровоизлияния в белое вещество мозга в районе премоторной зоны образовался (впоследствии ликвидировавшийся) синдром грубомоторных нарушений координации.

4-й день после кровоизлияния. Задания: *A* – круг, *B* – квадрат, *C* – число 122, *D* – воспроизведение ломаной, отмеченной черточкой *S*, *E* – число 101. Показание пациента при опыте *D*: «Как зарядил, так и иду.. Заметил, что не так, но не мог изменить» (*A. Р. Лурия*)

Наиболее часто встречаемые формы заикания представляют собой гиподинамические пересрачки с чисто функциональным гезезом. Принадлежность их к тому или другому уровню неясна; наиболее вероятна связь их с нижним подуровнем пространственного поля *С1*, почему мы и упоминаем их здесь. Являющиеся правилом исчезновение заикания при пении подкрепляет это предположение. Объясняется это тем, что пение, базирующееся в основном на стрийных фонах, мобилизует подуровень *striati*, снимая его функциональную гиподинамию.

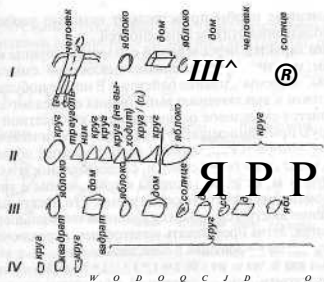


Рис. 97. Случай избирательной персеверации в уровне пространств при полном отсутствии таковой в предметном уровне. Надписи над каждой фигуркой сделаны экспертом ¹ ~~считанным~~ после окончания опыта и воспроизводят давнишнее болтовню словесных задатков. I, III — предметный уровень переклещиваний; II, IV — ~~предметный~~ при рисовании чужой фигур. Большой Г, с глубокой опухолью на ² ~~голове~~ ³ ~~голове~~ доли (из материя ⁴ ~~материя~~ ⁵ ~~материя~~ ⁶ ~~материя~~ ⁷ ~~материя~~ ⁸ ~~материя~~ ⁹ ~~материя~~ ¹⁰ ~~материя~~ ¹¹ ~~материя~~ ¹² ~~материя~~ ¹³ ~~материя~~ ¹⁴ ~~материя~~ ¹⁵ ~~материя~~ ¹⁶ ~~материя~~ ¹⁷ ~~материя~~ ¹⁸ ~~материя~~ ¹⁹ ~~материя~~ ²⁰ ~~материя~~ ²¹ ~~материя~~ ²² ~~материя~~ ²³ ~~материя~~ ²⁴ ~~материя~~ ²⁵ ~~материя~~ ²⁶ ~~материя~~ ²⁷ ~~материя~~ ²⁸ ~~материя~~ ²⁹ ~~материя~~ ³⁰ ~~материя~~ ³¹ ~~материя~~ ³² ~~материя~~ ³³ ~~материя~~ ³⁴ ~~материя~~ ³⁵ ~~материя~~ ³⁶ ~~материя~~ ³⁷ ~~материя~~ ³⁸ ~~материя~~ ³⁹ ~~материя~~ ⁴⁰ ~~материя~~ ⁴¹ ~~материя~~ ⁴² ~~материя~~ ⁴³ ~~материя~~ ⁴⁴ ~~материя~~ ⁴⁵ ~~материя~~ ⁴⁶ ~~материя~~ ⁴⁷ ~~материя~~ ⁴⁸ ~~материя~~ ⁴⁹ ~~материя~~ ⁵⁰ ~~материя~~ ⁵¹ ~~материя~~ ⁵² ~~материя~~ ⁵³ ~~материя~~ ⁵⁴ ~~материя~~ ⁵⁵ ~~материя~~ ⁵⁶ ~~материя~~ ⁵⁷ ~~материя~~ ⁵⁸ ~~материя~~ ⁵⁹ ~~материя~~ ⁶⁰ ~~материя~~ ⁶¹ ~~материя~~ ⁶² ~~материя~~ ⁶³ ~~материя~~ ⁶⁴ ~~материя~~ ⁶⁵ ~~материя~~ ⁶⁶ ~~материя~~ ⁶⁷ ~~материя~~ ⁶⁸ ~~материя~~ ⁶⁹ ~~материя~~ ⁷⁰ ~~материя~~ ⁷¹ ~~материя~~ ⁷² ~~материя~~ ⁷³ ~~материя~~ ⁷⁴ ~~материя~~ ⁷⁵ ~~материя~~ ⁷⁶ ~~материя~~ ⁷⁷ ~~материя~~ ⁷⁸ ~~материя~~ ⁷⁹ ~~материя~~ ⁸⁰ ~~материя~~ ⁸¹ ~~материя~~ ⁸² ~~материя~~ ⁸³ ~~материя~~ ⁸⁴ ~~материя~~ ⁸⁵ ~~материя~~ ⁸⁶ ~~материя~~ ⁸⁷ ~~материя~~ ⁸⁸ ~~материя~~ ⁸⁹ ~~материя~~ ⁹⁰ ~~материя~~ ⁹¹ ~~материя~~ ⁹² ~~материя~~ ⁹³ ~~материя~~ ⁹⁴ ~~материя~~ ⁹⁵ ~~материя~~ ⁹⁶ ~~материя~~ ⁹⁷ ~~материя~~ ⁹⁸ ~~материя~~ ⁹⁹ ~~материя~~ ¹⁰⁰ ~~материя~~ ¹⁰¹ ~~материя~~ ¹⁰² ~~материя~~ ¹⁰³ ~~материя~~ ¹⁰⁴ ~~материя~~ ¹⁰⁵ ~~материя~~ ¹⁰⁶ ~~материя~~ ¹⁰⁷ ~~материя~~ ¹⁰⁸ ~~материя~~ ¹⁰⁹ ~~материя~~ ¹¹⁰ ~~материя~~ ¹¹¹ ~~материя~~ ¹¹² ~~материя~~ ¹¹³ ~~материя~~ ¹¹⁴ ~~материя~~ ¹¹⁵ ~~материя~~ ¹¹⁶ ~~материя~~ ¹¹⁷ ~~материя~~ ¹¹⁸ ~~материя~~ ¹¹⁹ ~~материя~~ ¹²⁰ ~~материя~~ ¹²¹ ~~материя~~ ¹²² ~~материя~~ ¹²³ ~~материя~~ ¹²⁴ ~~материя~~ ¹²⁵ ~~материя~~ ¹²⁶ ~~материя~~ ¹²⁷ ~~материя~~ ¹²⁸ ~~материя~~ ¹²⁹ ~~материя~~ ¹³⁰ ~~материя~~ ¹³¹ ~~материя~~ ¹³² ~~материя~~ ¹³³ ~~материя~~ ¹³⁴ ~~материя~~ ¹³⁵ ~~материя~~ ¹³⁶ ~~материя~~ ¹³⁷ ~~материя~~ ¹³⁸ ~~материя~~ ¹³⁹ ~~материя~~ ¹⁴⁰ ~~материя~~ ¹⁴¹ ~~материя~~ ¹⁴² ~~материя~~ ¹⁴³ ~~материя~~ ¹⁴⁴ ~~материя~~ ¹⁴⁵ ~~материя~~ ¹⁴⁶ ~~материя~~ ¹⁴⁷ ~~материя~~ ¹⁴⁸ ~~материя~~ ¹⁴⁹ ~~материя~~ ¹⁵⁰ ~~материя~~ ¹⁵¹ ~~материя~~ ¹⁵² ~~материя~~ ¹⁵³ ~~материя~~ ¹⁵⁴ ~~материя~~ ¹⁵⁵ ~~материя~~ ¹⁵⁶ ~~материя~~ ¹⁵⁷ ~~материя~~ ¹⁵⁸ ~~материя~~ ¹⁵⁹ ~~материя~~ ¹⁶⁰ ~~материя~~ ¹⁶¹ ~~материя~~ ¹⁶² ~~материя~~ ¹⁶³ ~~материя~~ ¹⁶⁴ ~~материя~~ ¹⁶⁵ ~~материя~~ ¹⁶⁶ ~~материя~~ ¹⁶⁷ ~~материя~~ ¹⁶⁸ ~~материя~~ ¹⁶⁹ ~~материя~~ ¹⁷⁰ ~~материя~~ ¹⁷¹ ~~материя~~ ¹⁷² ~~материя~~ ¹⁷³ ~~материя~~ ¹⁷⁴ ~~материя~~ ¹⁷⁵ ~~материя~~ ¹⁷⁶ ~~материя~~ ¹⁷⁷ ~~материя~~ ¹⁷⁸ ~~материя~~ ¹⁷⁹ ~~материя~~ ¹⁸⁰ ~~материя~~ ¹⁸¹ ~~материя~~ ¹⁸² ~~материя~~ ¹⁸³ ~~материя~~ ¹⁸⁴ ~~материя~~ ¹⁸⁵ ~~материя~~ ¹⁸⁶ ~~материя~~ ¹⁸⁷ ~~материя~~ ¹⁸⁸ ~~материя~~ ¹⁸⁹ ~~материя~~ ¹⁹⁰ ~~материя~~ ¹⁹¹ ~~материя~~ ¹⁹² ~~материя~~ ¹⁹³ ~~материя~~ ¹⁹⁴ ~~материя~~ ¹⁹⁵ ~~материя~~ ¹⁹⁶ ~~материя~~ ¹⁹⁷ ~~материя~~ ¹⁹⁸ ~~материя~~ ¹⁹⁹ ~~материя~~ ²⁰⁰ ~~материя~~ ²⁰¹ ~~материя~~ ²⁰² ~~материя~~ ²⁰³ ~~материя~~ ²⁰⁴ ~~материя~~ ²⁰⁵ ~~материя~~ ²⁰⁶ ~~материя~~ ²⁰⁷ ~~материя~~ ²⁰⁸ ~~материя~~ ²⁰⁹ ~~материя~~ ²¹⁰ ~~материя~~ ²¹¹ ~~материя~~ ²¹² ~~материя~~ ²¹³ ~~материя~~ ²¹⁴ ~~материя~~ ²¹⁵ ~~материя~~ ²¹⁶

Персевераций гипердинамического типа уровня C мы ни разу не наблюдали. Как уже было сказано, ирритативные состояния эффекторов этого уровня с гипердинамическими проявлениями любых типов вообще трудно наблюдаемы.

Зато клиника *уровня действий D* очень богата персеверативными явлениями всех оттенков, нечувствительно подводящими плотную к высшим, символическим уровням группы *E*. В области сенсорных, или гностических, апраксий персеверация очень легко постигает пациента на любом из элементов цепного действия, который повторяется без конца, обессмысливая всю цепь. Возможны и граничащие с «застреванием» перескоки с исполняемой цепи на цепь, реализовавшуюся перед этим. В области письма могут встречаться все разновидности дефектов — от проявлений простой сенсорной аграфии до неоспоримого «застревания».

Письменные пробы представляют немалые удобства и для распознавания этих разновидностей'.

Общий характер персевераций сенсорной группы в описываемом уровне — обязательное искажение смысловой структуры, обесмысливание действия. В норме побудительным мотивом к выключению выполнения очередного звена цепи является смысловое осуществление той частной задачи, которую призвано решать это звено. У гностического апраксии, у которого испытывают распад как раз общее осмысление задачи всего действия и, следовательно, его смысловая структура, исчезают мотивы к тому, чтобы в тот или другой момент отключить текущее звено. Его нескончаемое продолжение диктуется апрактикой линии наименьшего сопротивления: легче продолжать начатое, чем переключиться на другое, ничем не зовущее к себе звено.

Очень важно отметить большую избирательность по отношению к контингентам движений, обнаруживаемую персеверациями уровня действий. Вернее, нужно говорить даже не об избирательности к движениям (в смысле их внешнего, кинетического оформления), а об избирательности к смыслу заданий того или другого рода. Так, например, больной без каких-либо затруднений рисует по заданию наблюдателя кружок или треугольник, но никакими усилиями не может перебороть персеверации, если начнет выполнение задания нарисовать «солнце» или «домик», которые он изображает почти неотличимо от круга и треугольника. В других случаях может получиться как раз наоборот, вследствие чего такие

Пациенту предлагают написать слово «революция». Если он пишет «руция» — это простая сенсорная аграфия. Если задание выполняется в виде «реревция», или «ревав», или, наконец, в виде многочисленных повторений верного написания заданного слова — это все различные варианты персевераций, определяющиеся особенностями локализации и структуры очага. Наконец, писание слова «революция» в ответ на всевозможные дальнейшие задания есть «застывание». Нельзя не вспомнить по поводу излагаемого прекрасной зарисовки у Н. С. Лескова (рассказ «Котин-Доилец и Платонида», гл. III) невропатического ребенка, систематически проявлявшего свой страх перед учителем в виде стереотипной персеверации при писании своего имени «Константинтинтинтинтинтин...» и т. д.

избирательные персеверации могут оказаться очень ценными признаками для топической диагностики (рис. 98, рис. 99).



Рис. 98. Явления персеверации в уровне C2 при отсутствии таковой в уровне V у больной с опухолью левой лобной доли (А. Р. Лурия)

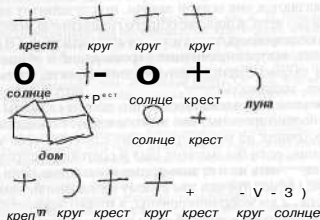


Рис. 99. Персеверация у больного с лобным симптомокомплексом. Рисование фигур по заданиям (словесные задания экспериментатора подписаны под каждой фигуркой рисунка). В верхней строке, выполнив правильно первое задание — крест, пациент затем трижды персеверировал его, несмотря на настоящие предложения нарисовать круг. В нижней строке на задание «крест» выходит задание «круг» — удерживая полукруг, а затем снова на все задания нарисовать кресты. Очень интересно и характерно для избирательных действий признака персеверации, что достаточно превратить словесные задания из включенно пространственных в предметные, т. е. переключить больного на другой уровень построения, чтобы от персеверации не осталось и следа — см. 2-ю и 3-ю строки, а также конец 4-й (рисунок предоставлен проф. А. Р. Лурией)

Эффекторные персеверации уровня действий противоположно сенсорным ясно обнаруживают свое гипердинамическое, или, говоря более узко, гиперкинетическое, происхождение. Эти проявления ирритации органа, обеспечивающего реализацию двигательного состава действий, очень часто оформляются как навязчивые, произвольные, *машинные действия*, вернее сказать, обрывки действий, поскольку дело идет, как правило, о вырывающихся наружу и без конца повторяющихся фоновых автоматизмах из их двигательного состава. Эти навязчивые машинности отличаются от сенсорных персевераций уровня *D*, помимо того что нередко протекают на фоне общей двигательной и речевой возбуденности пациента, еще тем, что *сензорные* персеверации возникают как ошибки при беспомощных попытках апрактического больного решить вставшую перед ним двигательную смысловую задачу. *Эффекторные* же персеверации, машинности, появляются вне всякой задачи, по случайному побуждению или без него, в порядке общего гиперкинеза, находящего выход в повторениях одних и тех же автоматизмов. От субкортикальных, экстрапирамидных персевераций и общих гиперкинезов таламо-паллидарного уровня характеризующиеся навязчивые машинности резко отличаются отсутствием анархической изуродованности⁴, они вполне складны и внутренне координированы, как этого и следует ожидать от фонов, исходящих из не пострадавших самих по себе уровней построения; если бы пациент был в состоянии справиться с ними и включить их в планомерные смысловые цепи, то они безукоризненно отвечали бы своему назначению. Эти машинности не дискордированы, а только неуместны.

Чтобы закончить вопрос об описываемом признаке персеверации, нужно сказать, что последняя⁵ обнаруживается не только при органических очаговых поражениях мозга, но существуют случаи, когда персеверации проскальзывают и у нормальных субъектов без каких бы то ни было болезненных предпосылок. В этих случаях возможны оба вида персеверации — и сенсорные, или гиподинамические, и эффекторные, или гипердинамические.

Гиподинамические персеверативные проявления возможны прежде всего на фоне общего функционального ослабления

Нервной системы: при сильном утомлении, сонливости, интоксикации и т. п. При нормальных состояниях организма сенсорные персеверации (или застревания) могут появляться: 1) когда создается необходимость в быстром переключении на другую форму или другой темп движения, 2) когда выполняемый двигательный процесс нов или слишком труден для субъекта, 3) когда что-либо интенсивно отвлекает или сбивает его. Приведем примеры. Речевые персеверации очень свойственны детям, обучающимся говорить (папапа вместо папа, лампала вместо лампа, бакака вместо собака и т. п.) или только недавно овладевшим речью (ошибки вроде гитипотам, папаятник, какаратика; мама, помоги; папа, погоди мне и т. п.). У взрослых они вновь проступают при значительных трудностях для выговаривания, требующих внезапных тонких переключений для лавирования среди похожих звучаний; ошибки *именноперсеверативного* характера появляются с наибольшей частотой в тех случаях (скороговорки), когда заданный текст сам представляет собой почти персеверацию⁶. Вот лингвистические

Такой исключительный знаток детской речи, как К. И. Чуковский, настойчиво подчеркивает это обстоятельство. «Дети более младшего возраста пальзуются рифмой не для игры, не для украшения речи, но... для облегчения ее. При неразвитом голосовом аппарате младенца ему *значительно легче произносить схожие звуки, чем разные*. Легче, например, сказать, «покоинично», чем «покойной ночи». Оттого, чем меньше ребенок, чем хуже владеет речью, тем сильнее его тяготение к рифме» («От двух до пяти», — 1937. — С. 238). «Неформальные или большие младенцы, которые не преодолевают таких языковых экзерсисов. Это именно экзерсисы, и трудно придумать более рациональную систему упражнения в искусстве речи, чем такое *многократное повторение всевозможных звуковых вариаций*...». «Чтобы научиться управлять (звуками языка) по своему произволу, он по очереди произносит их снова и снова, причем, ради *экономии сил*, в каждом новом звуко сочетании изменяет только один звук, а все остальные оставляет нетронутыми» (Там же. — С. 240). На такое же явление персеверации слов у своего четырехлетнего сына указывает А. Н. Толстой: «Никита взглянул на меня строгими глазами и сказал: — Послушайте, послушайте (у него есть привычка по два раза повторять некоторые слова), это же в самом деле глупо... Отдайте мне бумагу, а сами пишите, пишите коротенькую историю» (Толстой Л. Приключения Никиты Рошина. Предисловие). (Выделения в цитатах сделаны Н. А. Бернштейном. — Прим. ред.).

⁶ Несколько примеров, представляющих известный интерес для речедвигательного анализа: «Клара украла у Карла кораллы, Карлу Клары украл кларнет»; простые, но не легкие скороговорки: «король — орел — король — орел», «шла Гаша по шоссе», «cingsangsues a cent cingsous» НТ. п.

следы аналогичных персеверативных ошибок, происшедших при заимствовании слова с чужого языка: тартарары от латинского *tartarus*; французское *tresos* с двумя г от греческого *thesauros* с одним г и т. д.; слоговые удвоения персеверативного характера в словах древних языков: *themo-tithemi*, *tango-tetigi* и т. д.

Очень нередки персеверативные ошибки во время разузнавания трудных пассажей на музыкальном инструменте. Иногда легче персеверативно ударить на фортепиано лишнюю ноту, чем сделать требующийся по нотному тексту внеритмичный пропуск — синкопу. На циклографических записях игры на фортепиано хорошо видно, как даже законченные мастера делают в моменты подобных синкопических пропусков персеверативные холостые движения рукой в воздухе, поскольку это гораздо легче, чем затормозить руку (см. рис. 61). В утомленном состоянии нередко возникают персеверативные ошибки в письме.

В локомоторных движениях мы встречаемся с персеверациями там, где циклический процесс подвергается резкому переключению на однократный акт, требующий большой силы и внимания. При прыжке в длину с разбега многие мастера, уже оттолкнувшись от земли, в полетной фазе прыжка, продолжают перебирать ногами в ритме предшествующего бега (так называемые «ножницы»), что очень ясно видно на хронофотографических снимках (рис. 100).

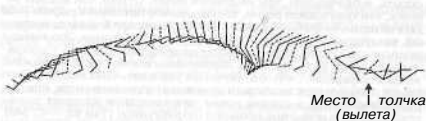


Рис. 100. Последовательные посадки левой (нетолчковой) ноги при прыжке в длину с разбега.

Хорошая иллюстрация бесполой в биомеханическом отношении персеверации: левая нога продолжает в воздухе во время полета полный шаговый цикл с выносом вперед и отставкой назад, в то время как правая нога находится в состоянии остановки в воздухе и последующим махом (работа Н. Сабшот, ЦНИИФК, 1938 г.)

Нередко высказывается мнение, что «ножницы» оказывают полезное механическое действие на результат прыжка. Это неверно, так

как никакие телодвижения при отсутствии внешней точки опоры не могут повлиять на прыжковый полет. Но, может быть, для прыгающего и легче в момент резкого напряжения сил при отталкивании и прыжке отжаться на волю персеверации, чем отвлечься на борьбу с ней, тем более что помешать успеху она тоже не может.

Персеверации эффекторного, гипердинамического типа при норме говорят об избытке сил, ищущем себе какого-то удовлетворяющего исхода, почему и носят так часто прямой или косвенный игровой оттенок. Они проявляются с раннего детства в тех нескончаемых повторениях — выкрикиваниях одной стихотворной строчки, иногда даже с совершенно заумным текстом, которые К. Чуковский удачно называет «кричалками», проступают в полустихотворениях («газель») примитивного уровня культуры, состоящих из бесконечных повторений почти не изменяющихся по тексту одной-двух стиховых строчек; обнаруживаются во всевозможных видах аллитераций и ассонансов, бесчисленных шуточных персеверативных удвоениях слов, встречаемых на всех языках мира: всяческие *Witzli-Putzi*, *pique-nique*, *pele-mele*, *Humpy-Dumpty*, *Handy-Spandy*, *Heetum-Peetum*, *шахер-махер*, *тары-бары*, *гоголь-моголь*, *фигли-мигли*, *тень-тень-потетень* и т. п. Отсюда уже один только шаг к объяснению привлекательности, а может быть, и генеза стиховой рифмы. В общей моторике произвольная гипердинамическая персеверация локомотивной «от избытка сил» дает пляску. Замечательно, что подобные «эуфорические» персеверации-гиперкинезы встречаются на уровнях не ниже стрийного подуровня *C1* пространственного поля; в проекции на филогенез это же наблюдение подтверждается тем фактом, что песня и пляска появляются там не ниже птиц.

Теперь переходим к специфическим признакам здоровой нормы, т. е. к тем избранным явлениям, которые способны с наибольшей точностью и выразительностью обеспечить ответы на четыре основных вопроса — о ведущем уровне и об уровне построения наблюдаемого нормального целостного двигательного акта.

Само собой разумеется, что все то характерное для общего облика движений разных уровней и для их специфических особенностей, что составило содержание соответствующих

описательных глав (см. гл. III—VI), должно послужить к их распознаванию в норме в первую очередь. Здесь речь идет о подборе и группировании таких вспомогательных признаков, которые легко систематизируются, доступны оформлению в виде функциональных проб и могут помочь в распознавании уровня построения и состава двигательных актов в сложных и неясных случаях. Они относятся к описанию гл. III—VI, как приметы — к портретам.

При выборе и группировании таких признаков удобно и целесообразно исходить из динамики построения в центральной нервной системе осваиваемого ею *двигательного навыка*, динамики, подробно охарактеризованной выше (см. гл. VIII).

Весь ход выработки двигательного навыка был разделен нами на *два периода*, разделяющиеся между собой фазой автоматизационных переключений.

Самая характерная черта процессов, присущих *первому* из этих периодов, — это выявление сторон и компонент двигательного акта, которые требуют особенно тщательной коррекционной отделки, и разграничение их от более индифферентных, в отношении которых может быть допущена известная вариативность, случайная или приспособительная.

Совершенно естественно, что применительно к этому первому периоду построения наиболее выразительными признаками будут те, которые отражают собой специфические по каждому из уровней черты точности и ее оборотной стороны — *вариативности*, т. е. признаки, которые могут быть обозначены как *признаки специфической точности и вариативности*.

Второй период построения двигательного навыка назван (см. гл. VIII) периодом *стабилизации*. Он включает налагающиеся друг на друга по времени фазы срабатывания занятых в двигательном акте уровней, стандартизации компонент навыка и их собственно стабилизации. Самое существенное в этом периоде — это расширение диапазона условий (внешних и внутренних), в границах которого навыку гарантирована стабильность. Однако, как далеко ни продвигается ра-

бота центральной нервной системы над укреплением стойкости навыка против сбивающих воздействий, все же навсегда остаются в силе разные степени действенности различных факторов этого рода по отношению к разным уровням построения. Точно также и сбивающее, деавтоматизирующее действие чрезмерно далеко заходящих вариаций остается весьма избирательно различным для разных уровней центральной нервной системы.

По отношению к одним видам видоизменений движения могут достигаться путем упражнения очень широкие диапазоны допускаемой вариативности, тогда как по другим они навсегда остаются узкими, обнажая, таким образом, слабые, негибкие, наделенные низкой приспособительностью места. Итак, и по линии допускаемой вариативности, и по линии различных внешних воздействий обнаруживается значительная *избирательность признака сбиваемое/ни*: есть возможность указать вариации и воздействия, особенно действенные для каждого фоновое уровня в отношении создаваемого ими сбивающего эффекта.

Отсюда следует, что для аналитической оценки *второго периода построения* наиболее характерна группа признаков *специфической стабильности* и ее оборотных сторон — *сбиваемости и деавтоматизации*, показательных как для уровня структуры анализируемого сложного движения, так и для достигнутой степени освоения навыка, реализующего это движение.

Итак, для анализа уровня состава и строения движения здоровой нормы и для ответа на четыре вопроса, которыми начата эта глава, мы можем реально использовать две парные группы признаков, обладающих наибольшей избирательной характерностью. Эти пары признаков уровня принадлежности, связанные: одна — с выявлением и развертыванием двигательного состава, другая — с его укреплением и стабилизацией, смогут дать тем более отчетливые ответы на поставленные вопросы, чем более точно и обстоятельно удастся исследовать характерные свойства каждого из

уровней построения в их отношении к перечисленным признакам. Когда мы будем располагать здесь четким исследовательским материалом, эти свойства должны будут заполнить собой таблицу ответов на следующие вопросы по каждому из координационных уровней в отдельности:

1. В каких элементах или свойствах движения или двигательной компоненты данный уровень выдерживает наибольшую точность и какова эта точность?

2. В каких элементах или свойствах движения или компоненты данный уровень допускает *наибольший диапазон вариативности* и какова эта допускаемая вариативность?

3. По отношению к каким видам воздействий или вносимых видоизменений те движения и их компоненты, которые вверены данному уровню, обнаруживают *наибольшую стабильность*?

4. Какие виды воздействий или вносимых в движение вариативных видоизменений оказывают на движения и компоненты, управляемые данным уровнем, *наибольшее сбивающее действие*?

Первые два вопроса связаны с группой признаков точности — вариативности, т. е. с первым периодом построения, вторые два — с группой признаков стабильности — сбиваемости, т. е. с его вторым периодом. В то же время первые два вопроса наиболее близко сопряжены с интересами и качеством *решения* стоящей перед индивидуумом *двигательной задачи*; вторые два — с интересами и качеством *протекания самого движения* и степенью достигнутой в нем автоматизации.

К сожалению, в построенной на этих вопросах поуровневой сетке еще так много пробелов и неясностей, что нельзя позволить себе по отношению к ней ничего, кроме довольно суммарного описательного эскиза. Нет сомнения, конечно, что если только сама постановка вопросов в ней правильна и правомерна, то точные экспериментальные и клинические

¹ Ниже будет показано, что этот вопрос придется объяснить на более детальных.

ответы на них не преминут в ближайшем будущем возникнуть и расставиться по соответственным квадратам.

Признак точности, отраженный в первом из вопросов предыдущей страницы, нуждается в некоторых пояснениях по поводу его соотношений с явлениями и признаками вариативности и сбиваемости.

Существует не так уж много движений, в которых точность имеет легко установимые, объективные количественные критерии. Во всех этих случаях, имеем ли мы дело с целостным движением или его компонентой, речь всегда идет о *целевой точности*, непосредственно связанной с успешностью решения двигательной задачи. Эта точность может в одних случаях носить *финальный характер*, относясь к конечному моменту или пункту совершаемого движения. В этих случаях она почти полностью синонимична с меткостью: точность показывания точки, прикосновения, укола, попадания по цели баллистическим — ударным или метательным — движением и т. д. В другой группе случаев та же целевая точность принимает *процессуальный характер*, обнаруживаясь по самому ходу движения: обведения зрительно или осязательно воспринимаемого контура, аккуратного письма по линейкам, строго прямолинейного движения на велосипеде и т. п.¹ Для всех этих проявлений целевой точности неизменно характерно наличие *объективных, внешних критериев*, дающих возможность *количественной оценки* погрешностей и отклонений. Очень легко представить себе подобные критерии для таких, например, двигательных актов, как вдевание нитки в иглу, выстрел из винтовки или лука в цель, отражение теннисного мяча на «брежущий полет» над ерткой, удар молотком по гвоздю, рисование на глаз окружности, метание гранаты в цель или через «окно» и т. п.

Однако объективно правильно оценка целевой точности не может быть получена из наблюдения над однократным

¹ Проявления финальной точности очень типичны для верхнего подуровня пространственного поля C2, хотя отнюдь не монопольны для него; проявления процессуальной точности так же типичны для подуровня C1.

выполнением движения, так как из нее должен быть исключен элемент *случайности*: случайно особенно точного, или, наоборот, случайно же более дефектного выполнения движения, чем это обычно свойственно испытуемому. Объективная и надежная оценка целевой точности может быть выведена только из *серии* одноименных движений посредством построения *кривой распределения* погрешностей или отклонений от имеющегося для данного вида движений критерия: например, отклонений кончика нитки от центра игольного ушка и т. п. Анализ такой кривой распределения дает для целевой точности *два измерителя*: 1) *среднее отклонение*, т. е. среднее значение степени неточности по всем замеренным случаям; этот измеритель мы будем в последующем, расширив несколько значение термина, называть измерителем *меткости*; 2) меру *рассеяния* или *распыленности* кривой распределения, либо, что ведет к тому же, обратную ей меру *собранности*, или *кучности*, кривой. Термин «кучность» (как и меткость), заимствуется нами из словаря, связанного со стрельбой и характеризует там степень собранности прицельного огня на возможно более узкую площадь цели. Он кажется нам очень удачно выражающим понятие, противоположное распыленности или рассеянию кривой распределения отклонений живого движения.

Совершенно очевидно, что рассеяние или распыленность кривой распределения есть не что иное, как вариативность движений по изучаемому показателю; таким образом, вариативность входит одним из двух измерителей в оценку целевой точности. Схематически эта оценка выглядит так:

<i>Целевая точность</i>		<i>Кучность</i>
<i>Меткость</i>		<i>Среднее отклонение</i>
(иначе: среднее отклонение, или (иначе: собранность; обратная величина, средняя погрешность, или систематическая ошибка и т. д.)		
		<i>Рассеяние, или распыленность, или вариативность и т. д.</i>

Как измеритель *меткости*, или систематическая ошибка, так и измеритель *кучности* могут иметь в разных случаях самые разнообразные значения. Но что касается кучности, то в

преобладающем большинстве движений вариативные отклонения распределяются *по законам случая*, т. е. кривая распределения имеет вид кривой Гаусса.

Упомянем в качестве примера об исследовании Л. Бриль под руководством автора (1944—1945 гг.). Испытывалась точность повторных трансверсальных ритмических перемещений кисти руки на 50 см под проприоцептивным контролем после короткого вырабатывания — привыкания при зрительном контроле. Слева на столе находился упор, справа же рука должна была наносить укол иглой на подложенную бумагу. Абсциссы всех уколов и динамика их изменений во времени замерялись и подвергались вариационно-статистической обработке.

На рис. 101 хорошо видны как смещения систематической ошибки, так и изменения степени кучности кривых распределения под влиянием вырабатывания, утомления и отдыха.



Рис. 101. Кривые распределения попаданий при проиhrжештинной оценке расстояний. Слева — в неутomленном, справа — а утомленном состоянии, / — первые 5 мин работы, 2 — вторые 5 мин работы после 1 мин отдыха. Типичный протокол единичного опыта (Л. Бриль, из лаборатории К. Х. Кекеева, Ин-т психологии, 1945 г.)

Движения, нуждающиеся по своему смыслу в *целевой точности*, которые при этом предъявляли бы значительно

более высокие *требования* к кучности, нежели к меткости, *никогда* не встречаются, хотя *фактически* имеет место целый ряд движений, кучность которых дает гораздо более высокие показатели, чем меткость. Требования к *меткости* при индифферентизме к кучности возможны, но представляют большую редкость (например, движения обвода штифтом планиметра, или, в некоторой степени, движения рулевого управления)¹.

Однако в преобладающем большинстве движений как элемент требований к высокой целевой точности, так и соответственно критерии для оценки систематической ошибки выполнения отсутствуют. Что считать мерилom координационной точности при ходьбе, выполнении хореографического движения, письме, силовом атлетическом упражнении, толкании ядра, метании диска? Очевидно, понятие точности нельзя считать принципиально неприложным к движениям вроде перечисленных. Координационные элементы точно-

В гл. V было высказано по поводу *приспособительной вариативности*, отличающей акты уровня пространственного поля от штампов уровня синергии, что эта вариативность непосредственно необходима для точного прилаживания этих актов к наилучшим решениям обуславливающих их двигательных задач. Отсюда может получиться впечатление, что широкая вариативность, т. е. *низкая* кучность, в ряде случаев существенно связана с высокой целевой точностью и меткостью. Действительно, случаи вроде меткой стрельбы влет очень ярко сочетают оба показателя: большую приспособительную вариативность прицельного жеста и столь же большую меткость, т. е. малую среднюю ошибку выстрела. Однако более внимательный анализ показывает, что в этом случае, как и во всех аналогичных ему, те коррекции, которые обуславливают высокую *меткость*, обязаны обеспечивать и столь же высокую кучность, иначе все равно меткой стрельбы не получится; вариативность же прицельного жеста обслуживается при этом коррекциями совершенно другого строения и состава. Это яче видно на тех примерах, где целевая приспособительная вариативность движения регулируется *другим уровнем*, нежели целевая точность: например, *предметные цепи* действий торадора, вариативность вспомогательных движений которого не нуждается в описании, решающий же жест укола в область продолговатого мозга быка (C2) максимально стандартен и точен, поскольку всякая погрешность в нем против целевой точности грозит смертельной опасностью. Итак, *в самом пункте целевой точности* меткость существенно неотделима от кучности.

сти есть и в них, но найти измерители для них более затруднительно.

Можно бы пойти по пути небольшого усложнения упомянутых движений, с тем чтобы в известном смысле приблизить их к движениям целевой группы: например, заставить человека идти по расчерченной поверхности и следить за тем, насколько точно он ступает на указанные ему последовательные полосы, или пустить его идти по узкой доске или батуту, или дать задание «бежать по кочам» (упражнение, практикуемое в спорте на местности), или предложить писать вместо привычной гладкой бумаги по линейкам и т. п. Но нетрудно видеть, что этими вмешательствами мы существенно *изменяем формулировку двигательной задачи*, вносим изменения в физиологическую структуру движений, побуждаем испытуемого включать необычные для этих движений афферентации, т. е. *переводить наблюдаемые нами движения на другие уровни построения*. Это не то, что нам нужно.

Ясно, однако, что если измеритель меткости не применим к движениям, лишенным элемента целевой точности, то второй измеритель, характеризующий их *вариативность*, обладает универсальной приложимостью к движениям всевозможных видов, не требуя при этом внесения в них каких-либо изменений или усложнений. Этот измеритель вариативности прилагается особенно удобно ко всякого рода циклическим движениям: ходьбе, бегу, плаванию, гребле, письму, работе напильником, пилой, к ритмическим гимнастическим упражнениям и т. п., но вполне пригоден и для любых однократных, лишь бы они могли быть повторяемы по нескольку раз. Изд. измерителя, или *критерия вариативности*, определившаяся уже при сделанной выше характеристике кривых распределения отклонений, состоит, очевидно, в том, чтобы *сравнивать движения между собой*, а не с внешним контрольным знаком, в некоторых случаях существенно входящим в состав движения и его коррекций, в других же случаях отсутствующим вовсе.

Точность никогда не встречается ни в целостных движениях, ни в двигательных компонентах как *самоцель*, и коррекции, проявляющие к ней в каких-либо направлениях повышенную взыскательность, не вырабатываются и не отшлифовываются в координационных уровнях без существенной побудительной причины. Такой побудительной причиной является всегда: 1) либо потребность в *целевой точности*, которая может стимулировать развитие и возрастание как измерителя меткости, так и измерителя кучности, 2) либо же требования к *стабильности* — необходимость застрахования движения от непосильных для него сбивающих вариаций. В этом случае отсутствия внешнего критерия (какой свойствен движениям с целевой точностью) делает понятие *меткости*, разумеется, неприменимым, и развитие точности устремляется целиком по направлению повышения кучности, т. е. по направлению *снижения диапазонов допускаемой вариативности*. Таким образом, по характеризующему пункту переменная точность смыкается вплотную с явлениями *сбиваемости* движений и, в частности, с четвертым вопросом, сформулированным выше. •

Итак, вопрос о признаке точности расчлняется после сделанного выше анализа на три вопроса: характеристики целевой точности по измерителям I) меткости и II) кучности и III) характеристика степени кучности, диктуемой не целевой точностью, а интересами стабилизации самого движения.

Теперь обращаемся к краткому и поневоле суммарному обзору уровней характеристик и соотношений применительно к доведенным до наибольшего возможного в настоящий момент уточнения вопросам о специфических признаках.

Признаки *целевой точности* как в отношении абсолютных средних, так и в отношении меры рассеяния, или кучности, выявляются в движениях и двигательных фонах, уже начиная с наиболее низовых уровней. В частности, рубро-спинальный уровень *A* представляет собой, судя по всем данным, уровень *высокой и жесткой точности*. Но так как почти вся его работа протекает в области очень глубоко скрытых и

замаскированных физиологических и биомеханических фонов, то вскрыть показатели этой целевой точности и сделать их доступными измерению очень трудно для регистрационной техники настоящего времени. Насколько возможно судить по косвенным показателям, уровень *A* соблюдает высокую точность и устойчивость поддерживаемых и регулируемых им абсолютных значений тонуса как шейной и туловишной мускулатуры, так и антагонистических пар мышц конечностей. С такой же точностью выдерживает он в норме и время включения антагонистов в поворотных пунктах движения, в особенности там, где это включение по типу миотатического рефлекса растяжения. По нашим наблюдениям *динамики бега*, например, момент включения силовой миотатической волны *n*, флексоров бедра маховой ноги выдерживается с кучностью, соответствующей рассеянию меньшим чем в одну миллисекунду. Точность, с какой этот уровень реагирует на отклонения от вертикальности головы и туловища, более широко известна; она распространяется на все виды и случаи двигательного, тонического и тетанического реагирования на вестибулярные (отолитовые) раздражения. Нельзя отказать в точности и осуществляемой этим уровнем *дозировке возбудимости* мышц конечностей. Хотя условия гетерохронизма, требуемого в качестве основной предпосылки для реципрокной иннервации и денервации антагонистов, как известно, сами по себе более чем нестроги, но важно то, что результат этого субординационного гетерохронизма получается вполне недвусмысленный по четкости. К сожалению, глубокая скрытость большинства регуляторных процессов, реализуемых уровнем *A*, и связанная с этим недоисследованность их пока не дают возможности ни расчлнить здесь друг от друга оба измерителя целевой точности, ни наметить с какой-либо степенью надежности порядок их абсолютных значений.

В резком контрасте с предшествующим уровнем *уровень синергии B* совершенно не обнаруживает случаев целевой точности управляемых этим уровнем движений и их компо-

нент. Всегда и везде эти движения и фоновые автоматизмы настолько замкнуты и оторваны от внешних измерительных эталонов, что вряд ли попытка измерения целевой точности, например улыбки, достойна чего-нибудь, кроме улыбки.

С переходом к подуровням *системы пространственного поля* *С* мы снова сразу вступаем в область целевой точности. По *нижнему подуровню С1* измеритель абсолютных значений точности («меткости» — по нашему расширенному толкованию этого термина) имеет особенно высокие значения по двигательной оценке: а) *протяжений*, т. е. отрезков длины, б) *направлений* движений, в) дозированной силы нажима или трения. Как протяжения, иначе говоря, масштабы движений, так и соблюдение их направлений в пространстве выдерживаются у движений, управляемых этим подуровнем, в области точности порядка обнаруживается характеризующим подуровнем применительно ко всем движениям, которые можно было бы обозначить как «примыкающие» движения: движения обведения фигуры, обвивания, обкладывания, двигательного следования за сам естество движущейся в зрительном или осязательном поле точкой и т. д. Во всех движениях этих видов подуровень *С/* обеспечивает строгую целевую точность совмещения, или конгруэнтности. Что касается измерителя *кучности*, то он дает наиболее высокие значения (обычно порядка нескольких миллиметров для кисти руки) точно так же для: а) масштабов, б) направлений совершаемого движения.

Подуровень С2, опирающийся на *пирамидную* эффекторную систему, уже известен нам как кульминационный уровень для целевой точности. Здесь при интенсивном использовании зрительного контроля оба измерителя точности достигают максимальных значений. «Сильные стороны» подуровня *С2*: во-первых, *финальная тонка* движения при показывании, прикосновении, уколе и т. п., дающая точность порядка до малых долей миллиметра; во-вторых, меткость и кучность *баллистических движений* метания и удара (очень широко индивидуально варьирующие у разных лиц и в боль-

шей мере зависящие от надежности и совершенства фоновых автоматизмов из уровня синергии); в-третьих, точность сохранения *геометрической формы* и *геометрического подобия*; в-четвертых, точность момента вступления, однократных целевых движений. Эта точность, известная под именем «времени простой моторной реакции», имеет порядок величины близ сотни миллисекунд при очень высокой кучности.

Поднимаясь к *уровню действия D*, мы снова попадаем в область коррекций, имеющих мало общего с метрической целевой точностью. Как это было уже подчеркнуто в гл. VI, вся потребность в точности, испытываемая действиями этого уровня, целиком удовлетворяется специальными фоновыми автоматизмами из обслуживающих эти действия ниже лежащих уровней; сами же по себе коррекции уровня *D* полностью перекрываются в систему понятий и показателей «качественной геометрии» — *топологии*, глубоко чуждой метризму. Таким образом, признак целевой точности в обоих его подразделениях ничего выразительного по уровню действий *D* не дает.

Обращаясь к обзору сторон и свойств движений, выдерживаемых уровнями на *минимальной вариативности во имя стабильности* самих движений, мы должны отметить следующее.

По *рубро-спинальному уровню А* палеокинетических регуляций особенно резкое сбивающее действие оказывают прежде всего всякие *смещения головы и туловища*, способные обусловить какие-либо прибавочные раздражения вестибулярных (отолитовых) аппаратов. Таким образом, даже незначительные вариации позы, в особенности шейно-туловищной позы — боковые наклоны головы, наклоны туловища с головой, а тем более переход, например, из вертикального положения а лежачее, — оказывают уже сильное сбивающее действие на компоненты, управляемые этим уровнем. Столь же чувствительны эти компоненты и к малейшим изменениям *хвоточной* позы кисти и пальцев, вызваны ли они

заменой рукоятки орудия или возникли в порядке преднамеренной вариации.

Двигательные отправления *уровня синергии В* буквально насыщены сторонами повышенной ранимости от внесения вариаций. Вся, в общей сложности немалая, точность, присущая движениям и фоном из уровня синергии, целиком жидется на угрожающих им со всех сторон опасностях выхода за границы допустимых вариаций.

Причины такой уязвимости заключаются, во-первых, в том, что управляющие коррекции движений уровня синергии полностью строятся на проприоцептивных и осязательных ощущениях, неотрывно связанных с элементами самого движения: последовательно проходимыми позами, формулами суставных углов, скоростями звеньев, испытываемыми ими ускорениями и усилиями и т. д. Малейшие вариации всех этих переменных движений вызывают уже измененные проприо-тангоощущения, и даже небольшое нарастание этих вариаций легко может вытолкнуть движущийся орган в область неизведанных, никак не освоенных рецепций, т. е. вызвать координационную растерянность и деавтоматизацию. У уровня пространственного поля, например, с его нацело объективированным и экстрацированным пространством, построенным в основном на показаниях телерецепторов, находящихся далеко от рабочих органов и не движущихся вместе с последними, зона пространственного поля, располагающаяся перед глазами, в области самых привычных ручных манипуляций, давно изучена в каждом своем кубическом сантиметре и позволяет беспрепятственно смещать траектории движения любым образом в своих пределах. Там же, где рецепторы движутся вместе с самим движущимся органом, воспринимая только его самого, каждая новая вариация — это уже новое ощущение, и, разумеется, из всей этой массы ощущений проработана и освоена в каждом навыке только сравнительно узкая полоса, правда, может быть, и расширяющаяся с увеличением стажа упражненности по этому навыку. В сущности, перед нами — та самая группа

Причин, которая делает уровень синергии таким негибким в Отношении переноса навыков по органу (см. гл. VIII). Во-вторых, узость зоны допускаемых вариаций обуславливается у движений и фонов уровня синергии феноменом *динамической устойчивости*, точно так же подробно разобранным в гл. VIII. Там было указано, что русла динамически устойчивых движений узки, дискретны и разделены полями нестойких форм, саморазрушающихся за счет деструктивной работы реактивной динамики. Таким образом и создается характерная для уровня синергии преобладающая наклонность к *штампам* — счастливо найденным узорам движений, имунным по отношению к реактивным силам; стойкая кучность этих штампов, т. е. намеренно и искусно выдерживаемая низкая вариативность движений уровня синергии, есть не что иное, как свойственный этому уровню прием борьбы со сбивающим и разрушающим действием реактивной динамики.

Таким порядком уровень синергии *В* выдерживает на минимальной вариативности (т. е. на высокой кучности) прежде всего *позы*, рисунок суставных углов, формы траекторий и скорости движения по ним. Столь же уязвимы по отношению к внесению вариаций *темп* и внутренний ритм движения. Насколько резко сбивает движения этого уровня изменение темпа, видно хотя бы по резкой разнице структуры, например, стилей бега на средние и на короткие дистанции: при отношении темпов обоих всего лишь порядка 2 : 3 или по вынужденному превращению ходьбы в бег при переходе через критический темп ~190 шагов в минуту. В порядке сравнения отметим ничтожные изменения структуры и соответственно ничтожное деавтоматизирующее действие, например, при увеличении в 1,5 и даже 2 раза темпа какого-нибудь беглого фортепианного пассажа (уровень С).

Нужно оттенить, что стандартность траекторий, амплитуд и скоростей движения в уровне синергии возрастает по мере перехода к системам со все большими значениями момента инерции, как это было, между прочим, показано нами

на движениях ходьбы и рубки зубилом. Степень кучности возрастает параллельно скорости сходимости рядов Fourier, интерпретирующих ритмическое живое движение, т. е. степени простоты и стройности структуры последнего. Так, на пример, при рубке зубилом и наименьшую кучность, и наименьшую сходимость тригонометрических рядов показали траектории локтевого и плечевого сочленений, а наибольшие значения тех же показателей — траектории: а) центра тяжести системы от локтя до конца молотка и особенно б) центра тяжести всей руки с молотком.

Количественная степень точности (кучности), задаваемой уровнем синергии, в грубоватой характеристике может быть оценена как сантиметровая — по пространству и сантисекундная — по времени, как это опять-таки явствует из наших циклограмметрических материалов. Таким образом, эта кучность в общем ниже обеспечиваемой обоими прилегающими уровнями, но зато распространяется на очень широкий круг показателей (рис. 102).

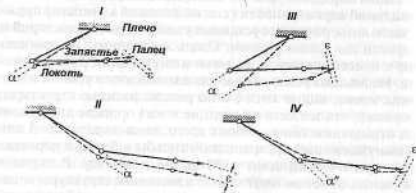


Рис. 102. Схема зависимости изменений точности от качества сенсорной коррекции.

α — угловой допуск смещения плеча; s — результирующий допуск в кончике пальца. При пропорцедливной коррекции за счет мышечной о-суставной чувствительности плеча (рис. I и II) допуск меняется пропорционально радиусу s смещения (расстоянию от плеча до пальца), так как он определяется постоянством допуска α . При оптометрической коррекции (позы III и IV) точность у конца пальца m зависит ни от позы, ни от величины локтевого угла, ни от плечевого допуска α , α' и т. п.

[О подуровнях системы пространственного поля Судается сказать меньше. По отношению к нижнему, стрийному подуровню C1 наиболее сближающим действием обладают вариации: а) изменение масштаба или амплитудной метрики движения б) изменение содержащихся в нем направлений. Эти привычные, автоматизированные движения обведения контура или скольжения вдоль линейной направляющей подвергнуть повороту, то это вносит очень ощутительную автоматизацию.

Что касается верхнего, пирамидного подуровня C2, то вообще присущие ему высокая и несбиваемая вариативность и переключаемость позволили пока прощупать только одно слабое место его по линии вариаций: если речь идет о воспроизведении геометрической фигуры — то поворот этой фигуры на 90 или 180°, если же о каком-либо ином не слишком притивном движении в том же подуровне — то зеркальный поворот этого движения, т. е. взаимная замена в нем 'правой и левой стороны.

Еще более высокая вариативность, свойственная уровню действий D и достаточно подчеркнутая при его общем описании (см. гл. VI), оставляет как будто только одну слабую сторону по части сбивающей вариативности в этом уровне: это как раз снятие взаимозаменяемости правой и левой руки, имеющей место в уровне пространственного поля. Таким образом, если замена правой руки на левую или обратно оказывает на двигательный акт сбивающее, деавтоматизирующее действие, то это почти точный знак, что этот акт ведется под управлением уровня действий if.

На вопрос о сторонах и свойствах движения, наиболее безопасных в отношении допускаемой вариативности, можно в

В нем самом, а отнюдь не в отношении исполнительного органа, как раз в этом подуровне допускающего очень легкую переключаемость. Разумеется, для этого испытания должно быть выбрано несимметричное по форме движение.

Отличительным признаком от уровня B, точно так же не допускающего переключений из правой в левую руку, является то, что акты уровня D во всевозможных других отношениях выносят любые вариации, тогда как уровень B сбивается ими.

настоящий момент ответить только в самых общих чертах. По обоим низовым уровням, опирающимся в своей работе на танго- и проприорецепторику, как *приспособительная, пластическая вариативность*, так и «*вариативность от индифференцизма*» столь же слабо выражены, как и явления псиреноса. По уровню синергии из всех перечислявшихся выпиперемменных наиболее вариативны амплитуды, допускающие сохранение привычной, автоматизированной двигательной структуры в довольно широких пределах.

Допускаемая вариативность, как приспособительная, так и индифферентная, начинает резко возрастать по целому ряду показателей в подуровне С1. Здесь уже имеет место отрыв от определенной пространственной координаты, т. е. широкая вариативность местоположения траекторий точек движущегося органа, и отрыв от самого исполнительного органа с появлением возможности многообразной викарной взаимозаменяемости. В подуровне С2 сюда присоединяются: легкая вариативность амплитуды и масштаба, изменчивость положений, форм и допустимость поворотов траекторий в самых разнообразных плоскостях (за исключением зеркального обращения движения, см. выше). Вариативность смысловых цепей из уровня действий простирается еще дальше, позволяя сверх переключений рабочей точки и исполнительного органа еще целый ряд не искажающих смысла видоизменений в перечне и порядке звеньев цепи; регресс вариативности имеет здесь место только по отношению к правой и левой руке.

Точно так же мало можно сказать в настоящее время по вопросу о *наименее сбивающих внешних воздействиях*, т. е. о таких приводящих внешних условиях, которые, несомненно, осложняют общую обстановку выполнения двигательного акта и в то же время переживаются коррекциями данного уровня с достаточным индифференцизмом в смысле отсутствия от них сбивающего эффекта.

По отношению к обоим низовым экстрапирамидным уровням Ак В наиболее индифферентным является прежде

тл-его выключение телерецепторов, очень сбивающе действующее на движения вышележащих уровней. Для уровня синергии столь же мало опасным в смысле сбивающего действия и хорошо парируемым посредством механизмов динамической устойчивости является усложнение внешнего переменного силового поля, включение каких-либо новых, ранее не фигурировавших внешних сил или сопротивлений. Наконец, опять-таки полинии обоих низовых уровней, к безопасным внешним воздействиям надо причислить *отвлечение внимания* испытуемого, вообще не играющего заметной роли в произвольных, неосознаваемых фоновых компонентах из А и В.

Если можно причислить к категории воздействий и время, то этот фактор дает очень малый деавтоматизирующий эффект по уровню синергии. Незначительное впечатление производит на движения и фоны этого уровня и изменение тактильного поля: сухость или влажность кожи, перчатки, та или другая одежда и т. п.

Двигательные акты из уровня пространственного поля С легко переносят экзогенно обусловленные, навязанные изменения темпа, масштаба, угловой амплитуды движения — все воздействия, очень болезненные для экстрапирамидных уровней. Как показывают наблюдения «пластичности нервной системы», этими актами очень легко приспособительно воспринимаются такие экзогенные воздействия и изменения, как, например, подвязывание одной из конечностей, надевание лонгет, надевание (на здоровую конечность) протеза, замена одного орудия другим и т. п. Эти факты, тесно примыкающие к переключаемости, были уже подвергнуты разбору (см. гл. VI). Круг внешних воздействий, безопасных в смысле сбивающего эффекта для действий уровня Д очень широк и не включает ничего особо характерного.

Более содержательная последняя часть нашего описания специфических признаков — *обзор внешних воздействий, обладающих избирательно наибольшим сбивающим эффектом на отправления того или иного уровня построения*; она пред-

ставляет довольно разносторонний практический интерес. Утонченные изыскания в этом направлении, помимо обогащения сетки опознавательных признаков, должны дать целый ряд важнейших указаний на условия, содействующие наибольшей стабильности двигательных навыков различной структуры, а вместе с тем и на пути их рациональной и наиболее эффективной *стабилизации*. Пока и по этому вопросу может быть сказано не слишком много.

Двигательные фоны из уровня *палерегуляций А* обнаруживают наибольшую лабильность прежде всего ко всем воздействиям, вызывающим *раздражения вестибулярного* (отолитового) *аппарата* уха и протекающим из них тоническим шейно-туловищным реакциям. Толчки и сотрясения, пассивные повороты, несимметричные силы (например, ветра или статической нагрузки), односторонние температурные воздействия на кожу лица и шеи, резко неодинаковое освещение обоих глаз и т. п., как правило, сильно деавтоматизируют всякие движения по их²; омпонентам из уровня *А*.

Следующая группа особенно ощутительных воздействий по этому уровню связана с изменениями в *тангорецепторике конечностей*.

Всем известно, как сильно сбивает движения замена привычной рукояти. Каждый мастер гораздо охотнее пойдет на смену рабочей части орудия, с которым он сработался, нежели на смену его хваточных элементов; черенок ножа ему дороже лезвия. Так же сильно сбивают те изменения осязательно-го поля, которые были только что перечислены как индифферентные по уровню пространственного поля: надевание перчаток, сухость кожи, вмешательство антальгических коррекций (см. выше) от местных болевых точек на исполнительном органе: мозолей, панарициев, ожогов и т. п. Наконец, сбивающее действие на фоны из уровня *А* совершенно бесспорным образом оказывает *время*, наоборот, очень мало эффективное в отношении компонент из уровня синергии.

Уровень синергии В, в свою очередь, обладает не менее характерной группой опасных для него внешних воздействий.

Прежде всего сюда относятся *изменения рабочей позы*, формы и высоты сидения, высоты верстака или рабочего поля, размеров и габаритов орудия (рабочего орудия, музыкального инструмента, гимнастического снаряда и т. п.), влияющих на расположение частей тела и формулу суставных углов. Кроме того, к воздействиям этого же рода принадлежит *смена исполнительного органа* — даже частичное изменение формы его участия в общем синергетическом акте. Далее, избирательно-сбивающее действие, судя по всему, оказывает экзотеннонавязанный *ритм*; движения из подуровня *С1* мирятся с ним хорошо, в то время как синергии явно предпочитают свой автохтонный ритм *ad libitum*. Наконец, сбивающий эффект по уровню синергии вызывается *симультаным включением другой синергии*; на такую дуплексную нагрузку у уровня синергии явно не хватает объема и распределения его «внимания».

Здесь должна быть упомянута еще одна комбинация. Для движений (и двигательных элементов действий), обладающих фонами из уровня синергии *В*, но свободных от фонов из *С2*, очень характерно то, что при хорошо освоенном навыке такие движения привычно текут без контроля зрения, *включение* же последнего производит на них *резко сбивающее действие*.

Для стримального подуровня *С1* пространственного поля характерны прежде всего два источника сбивающих воздействий: во-первых, навязывание ведущимся в нем движениям циклической *экзогенной метрики*, а во-вторых (вызванное соответственными сбивающими факторами), *ослабление функции* фоновой рubro-спинальной *уровня А*. Первая группа сбивающих воздействий иллюстрируется характерным, не раз упоминавшимся примером ходьбы по шпалам или по начерченному на полу разметкам. Что касается второй группы сбивающих факторов, то каждый, несомненно, замечал, как резко и избирательно сказывается отлежанность руки, ее переохлаждение, чем-либо вызванная кожная гипестезия и т. п., прежде всего на двух основных качествах мо-

торики подуровня *Ск* беглости и процессуальной точности. До какой степени невозможно, придя с холода, сразу приняться за работу, знает каждый музыкант-исполнитель, чертежник и т. п. Однако этот сбивающий эффект обуславливается не непосредственно значимостью тактильных и суставно-проприоцептивных афферентаций для управления движениями подуровня *С1*, а главным образом деавтоматизацией этих движений, вызванной нарушениями в рубро-спинальном уровне *А*, теснейшим образом связанным с подуровнем *С1*. Мы имели уже случаи видеть, как интимна связь обоих уровней в патологии, в частности в синдромах выпадений; эта же связь снова проступает и здесь, показывая, в какой решающей мере нуждаются координации подуровня *С*/в фундаментах из *А*.

Из области воздействий, уже выходящих за пределы повседневной нормы, необходимо упомянуть о весьма избирательном сбивающем действии на подуровень *С*/двух групп интоксикаций. Во-первых, сюда относится эффект алкоголя (расстройства стояния и ходьбы, нарушения точных движений из контингентов *СТ*), а во-вторых, эффект отравления вероналом^{*}, дающим в этом же направлении еще более яркие и еще более четко избирательные нарушения ходьбы, письма, речи, всевозможных пространственных манипуляций и т. п.

Внешние воздействия, наиболее ощутительно сбивающие для движений и компонент верхнего подуровня пространственного поля *С2*, дают не менее яркое созвездие. На первом месте здесь мы поместим воздействия, *отвлекающие внимание* субъекта: шум, разговор, привлечение внимания к чему-нибудь постороннему и т. п. Еще на двигательные акты нижнего подуровня *С1* такое отвлечение действует совсем мало, и они, как известно, очень легко текут машинально (ходьба, хорошо разученный музыкальный пассаж, привычный трудовой автоматизм и т. п.). По отношению же к низо-

вым уровням *В* и *А* мы могли поместить фактор отвлечения внимания прямо в графу наиболее безопасных по сбивающему влиянию воздействий. По отношению к разбираемым движениям из *С2* очень характерно, что отвлечение внимания действует сбивающе не только на акты, самостоятельно ведущиеся на этом подуровне, но и на управляемые им фоновые автоматизмы для уровня действий, несмотря на то, что автоматизмы всегда текут вне поля сознания. Иногда этот факт дает даже хороший признак для различения между собой двигательных отправлений из *С1* и *С2*.

Второй фактор, сильно дезорганизующий движения из подуровня *С2*, есть изменение в каком-нибудь смысле *зрительного контроля*, всегда решающе важного для отправлений этого подуровня. Так, сбивающе действует, например, контролирование своих движений вместо прямого зрения смотрением в зеркало или через оборачивающие призмы и т. п. Правда, свойственная обоим подуровням пространственного поля широкая пластичность очень быстро выравнивает возникающие здесь нарушения движений, и уже после небольшого упражнения они вновь хорошо автоматизируются. Опыты со сбивающим воздействием указанного рода должны быть рассчитаны на внезапность и неподготовленность. Еще сильнее, чем извращения зрительной афферентаций, действует, разумеется, *полное выключение зрительного контроля*. Движения нижнего подуровня пространственного поля сбиваются от закрывания глаз в очень малой степени: например, ходьба (конечно, при условии исключения боязни на что-либо наткнуться), проведение линий, работа обеих рук на фортепиано и левой руки — на скрипке и т. п. Координации же пирамидного подуровня во многих случаях делаются просто невозможными, и не только те, которые по самой своей сути недоступны для слепых.

Заметно страдают, если и не обязательно сбиваются совсем, движения подуровня *С2* при сильном утомлении, сонливости, мигрени и т. п. Из прямо токсических сбивающих воздействий здесь могут быть упомянуты те, которые вызы-

^{*} Аналогичные явления дают и другие барбитураты, но с вероналом они получаются в наиболее чистом виде.

вают тем или иным путем ишемию мозга, например, окись углерода, высотная гипоксемия и т. д.

Наконец, *уровень действий DUG* ПОЗВОЛИЛ пока уловить ни одной характеристической формы воздействия, которая влияла бы на управляемые акты избирательно сбивающим образом. Как и во всех других уровнях, движения уровня действий отвечают деавтоматизацией на переключение их в другой непривычный им уровень. Об этой форме деавтоматизации уже была речь выше (см. гл. VIII), но мы условились не включать ее в рассмотрение. Нарушение сбивающими воздействиями каких-либо фоновых автоматизмов действий, конечно, деавтоматизирует и самые действия, но эти нарушения нашли уже свое отражение при характеристиках сбиваемое™ самих этих низовых уровней. Сбивающего же эффекта каких-либо определенных вмешивающихся воздействий на ведущие коррекции уровня действий как такового до настоящего времени уловить не удастся.

Таковы наблюдения, которые могли быть собраны в настоящее время по обрисовке и систематизации специфических уровней признаков двигательных актов человека.

Очерки по физиологии движений и физиологии активности

Очерк восьмой Назревшие проблемы регуляции двигательных актов

Очевидная огромная биологическая значимость² двигательной деятельности организмов — почти единственной формы осуществления не только взаимодействия с окружающей средой, но и активного воздействия на эту среду, изменяющего ее с безразличными для особи результатами, — заставляет особенно остро недоумевать перед тем теоретическим отставанием, которое наблюдается в физиологии движений по сравнению с разделом рецепторики или физиологии внутренних процессов, и перед тем пренебрежением, в каком до настоящего времени находится раздел движений в физиологических руководствах, уделяющих ему обычно от нуля до нескольких страниц. Необходимо вкратце показать, как велик был ущерб, понесенный вследствие этого общей физиологией.

Если классифицировать движения организма с точки зрения их биологической значимости для него, то ясно, что на первом плане по значимости окажутся акты, решающие ту или иную возникшую перед особью *двигательную задачу*. Отсрочивая пока анализ этого понятия, заметим, что *значимые задачи*, разрешаемые двигательной акцией, как правило, возникают из внешнего окружающего организм мира. Сказанное сразу устраняет из круга значимых акций как все «холостые» движения, не связанные с преодолением внешних сил, так и значительную часть мгновенных, однофазных движений типа отдергивания лапы и т. п. Уже отсюда

¹ Берштейн Н. А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности. — М., 1966.

² Настоящий очерк был опубликован в журнале: Вопросы психологии. — 1957. — № 6. — С. 70.

видно, что лабораторная физиология, за малыми исключениями оставлявшая за порогом рабочей комнаты все движения, кроме болевых, оборонительных, самое большое — чешательных рефлексов¹, тем самым обедняла свои познавательные ресурсы не только количественно, но и качественно и, как мы сейчас увидим, отнюдь не только в отношении узко двигательной проблематики.

Прежде всего, если относительно «холостых» движений (показывание, проведение линии по воздуху и т. п.) требуются некоторые сведения из механики и биомеханики, чтобы усмотреть для них неотвратимую необходимость колевых сенсорных регуляций, то в отношении двигательных актов, сопряженных с преодолением *внешних сил*, эта необходимость понятна с первого слова. Состоит ли решаемая двигательная задача в локомоции (особенно чем-либо осложненной): бежать по неровному месту, вспрыгивать на возвышение, плыть при волнах и многое другое), в борьбе с другим животным, в рабочем процессе, выполняемом человеком, — всегда предпосылкой для решения является преодоление сил из категории *неподвластных*, а следовательно, непредусмотримых и не могущих быть преодоленными никаким стереотипом движения, управляемым только изнутри. Неосторожное отвлечение из поля зрения этих процессов активного взаимодействия с неподвластным окружением (видимо, самоограничение одними «автоматами движений» выглядело вполне оправданным для механицистов-атомистов прошлого века, считавших, что целое есть всегда сумма своих частей и ничего более) повело прежде всего к тому, что принцип сенсорной обратной связи, который именно на двигательных объектах мог быть легко усмотрен и обоснован уже 100 лет назад, оставался в тени до недавнего времени.

Долгие годы в физиологии непреодолимо держался в качестве ведущего и универсального принцип разомкнутой

¹ Реакция, обозначаемая как ориентировочный рефлекс, была относима к категории значимых акций только терминологически и, насколько мне известно, никогда не использовалась для прямого исследования рефлекторной деятельности а точном значении этого термина.

рефлекторной дуги. Нельзя исключить возможности того, что действительно в таких элементарных процессах, как рефлекс слюноотделения, или в таких отрывистых и вообще второстепенных по биологическому значению, как рефлекс болевого отдергивания и т. п., дуга не замыкается в *рефлекторное кольцо*, характерное для схемы управляемого процесса, либо из-за кратковременности акта, либо вследствие его крайней элементарности. Но возможно и вероятно также, что в силу тех же причин краткости и элементарности имеющаяся и здесь циклическая структура ускользала до сих пор от внимания и регистрации (за слюноотделительного процесса это уже почти несомненно). Так или иначе, но представляется очень правдоподобным, что рефлекс по схеме *дуги* есть лишь рудимент или очень частный случай физиологического реагирования¹.

Остается сказать еще об одном ущербе, понесенном физиологией от подмены реальных двигательных актов, разрешающих возникшую объективную задачу, обломками движений почти артефактного характера. Этот последний ущерб, до сего времени не подчеркивавшийся в достаточной степени, очень сильно обеднил наши познания в области *рецепторной* физиологии и при этом содержал в себе корни важных методологических ошибок.

Нельзя не заметить, что в роли приемника *пусковых сигналов*, включающих в действие ту или иную рефлекторную дугу, — единственной роли, изучавшейся физиологами классического направления, рецепторные системы, по крайней мере у высокоорганизованных животных и у человека, функционируют существенно и качественно иначе, нежели в роли следящих и корригирующих приборов при выполнении двигательного акта. Это различие можно уяснить, если, став снова на точку зрения биологической значимости, направить

¹ Я не решился бы даже исключить возможность того, что первый в мире рефлекс по схеме разомкнутой дуги появился на свет там же, где возникло первое в мире «элементарное ощущение» — то и другое в обстановке лабораторного эксперимента.

внимание на те качества, которые в том и другом случае должны были отсеиваться путем естественного отбора.

Для сигнально-пусковой функции рецептору существенно иметь высокую чувствительность, т. е. максимально низкие пороги как по абсолютной силе сигнала, так и по различию между сигналами. На первый план по биологической значимости здесь выступают *телерецепторы* обоняния, слуха (также ультраслуха) и зрения в различных ранговых порядках у разных видов животных. Для вычленения далее значимых сигналов из хаотического фона «помех» нужна и необходимо выработать совершенно аналитическая, или *анализаторная*, способность реципирующих аппаратов центральной нервной системы (вполне естественно, что И. П. Павлов, в столь большой степени углубивший наши знания по сигнально-пусковой функции рецепторов, приписывал им название *анализаторов*, только в самые последние годы его жизни дополненное приставкой «синтез»).

Наконец, для этой же сигнально-пусковой роли важнейшим механизмом (который предугадывался уже И. М. Сеченовым и был впоследствии отчетливо экспериментально выявлен исследователями, отправлявшимися от практических задач военного наблюдения) является совокупность процессов активного систематизированного *поиска* (scanning), или «просматривания», своего диапазона каждым из телерецепторов. Это процессы целиком активные, использующие эффективность в полной аналогии с тем, как последняя эксплуатирует афферентацию в управлении движениями, но, замечу сразу, не имеющие ничего общего с процессами привлечения организованных двигательных актов к целостному активному восприятию объектов внешнего мира, о чем будет речь дальше.

Когда же двигательный смысловой акт уже «запущен в ход» тем или иным сенсорным сигналом, требования, предъявляемые биологической целесообразностью и приведшие к сформированию в филогенезе механизмов кольцевого *сенсорного корригирования*, оказываются существенно иными.

Что бы ни представляли собой возникающая двигательная задача и тот внешний объект, на который она направлена, для правильной, полезной для особи реализации этой задачи необходимо *максимально полное и объективное* восприятие как этого объекта, так и каждой очередной фазы и детали собственного действия, направленного к решению данной задачи.

Первая из названных черт рецепторики в этой ее роли — полнота, или синтетичность, обеспечивается хорошо изученными как психо-, так и нейрофизиологами сенсорными синтетами (или сенсорными полями). К их числу относятся, например, схема своего тела, пространствен но-двигательное поле, синтеза предметного или «качественного» (топологического) пространства и др. Роль этих «полей» в управлении двигательными актами автор (1947), пытался подробно обрисовать в книге о построении движений. Здесь достаточно будет только напомнить: 1) что в этой функциональной области синтетичность работы рецепторных приборов фигурирует уже не декларативно (как было выше), а как реально прослеженный на движениях в их норме и патологии основной факт и 2) что в каждом из таких сенсорных синтезов, обеспечивающих процессуальное управление двигательными актами, структурная схема объединения между собой деятельности разных проприо-, танго- и телерецепторов имеет свои специфические, качественно и количественно различные свойства. При этом слияние элементарных информации, притекающих к центральному синтезирующим аппаратам от периферических рецепторов, настолько глубоко и прочно, что обычно почти недоступно расчленению в самонаблюдении. И в описываемой функции принимают участие все или почти все виды рецепторов (может быть, только за исключением вкусового), но уже в существенно иных ранговых порядках. На первом плане оказывается здесь обширная система проприорецепторов в узком смысле. Далее она обрастает соучастием всей танго- и телерецепторики, организовавшейся на основе всего предшествующего практического опыта для выполнения роли «функциональной проприоцеп-

торики». О других, еще только намечающихся чертах чисто физиологического своеобразия работы рецепторов в обсуждаемом круге функций — параметрах адаптации, порогах «по сличению», периодичности функционирования и др. — будет сказано во второй части очерка.

Вторая из названных выше определяющих черт рецепторики как участника кольцевого координационного процесса — *объективность* — имеет настолько важное принципиальное значение, что на ней необходимо остановиться более подробно.

В той сигнальной (пусковой или тормозной) роли, которая одна только и могла быть замечена при анализе рефлексов по схеме незамкнутой дуги и которая повела к обозначению всего комплекса органов восприятия в центральной нервной системе термином «*сигнальная система*», от афферентной функции вовсе не требуется доставления объективно верных информации. Рефлекторная система будет работать правильно, если за каждым эффекторным ответом будет закреплен свой неизменный и безошибочный распознаваемый пусковой сигнал — код. Содержание этого кода, или шифра, может быть совершенно условным, нимало не создавая этим помех к функционированию системы, если только соблюдены два названных сейчас условия. То, что подобный индифферентизм центральной нервной системы к смысловому содержанию сигнала не является каким-то странным, чисто биологическим феноменом, а заложен в самом существе сигнально-пусковой функции, лучше всего доказывается тем, что такими же условными кодированными сигналами безукоризненно осуществляются все необходимые включения и переключения в телеуправляемых автоматах. Можно построить два совершенно одинаковых автомата (самолет-снаряд, мотокатер и т. п.) с одинаковыми моторами, рулями, схемами их радиореле и т. д. и, не внося никаких конструктивных различий, сделать при этом так, чтобы на радиокоды А, Б, В, Г первый отвечал реакциями 1, 2, 3, 4, второй — реакциями 4, 2, 1, 3 или как угодно иначе.

Совершенно иными чертами характеризуется работа рецепторной системы при несении ею контрольно-координационных функций по ходу решаемой двигательной задачи. Здесь степень *объективной верности* информации является решающей предпосылкой для успеха или неуспеха совершаемого действия. На всем протяжении филогенеза животных организмов естественный отбор неумолимо обуславливал отсев тех особей, у которых рецепторы, обслуживавшие их двигательную активность, работали, как кривое зеркало. В ходе онтогенеза каждое столкновение отдельной особи с окружающим миром, ставящее перед собой требующую решения двигательную задачу, содействует, иногда очень дорогой ценой, выработке в ее нервной системе все более верного и точного *объективного отражения* внешнего мира как в восприятии и осмыслении побуждающей к действию ситуации, так и в проектировке и контроле над реализацией действия, адекватной этой ситуации. Каждое смысловое двигательное отправление, с одной стороны, необходимо требует не условного, кодового, а объективного, количественно и качественно верного отображения окружающего мира в мозгу. С другой стороны, оно само является активным орудием правильного познания этого окружающего мира. Успех или неуспех решения каждой активно пережитой двигательной задачи ведет к прогрессирующей шлифовке и перекрестной выверке показаний упоминавшихся выше сенсорных синтезов и их составляющих¹, а также к познанию через действие, *проверке через практику*, которая является краеугольным камнем всей диалектико-материалистической теории познания, а в разбираемом здесь случае служит своего рода биологическим контекстом к ленинской теории отражения².

¹ Бесспорный факт существования в центральной нервной системе человека нескольких качественно различных между собой сенсорных синтезов не противоречит сказанному об объективности мозговых отражений и находит достаточное объяснение в физиологии координации движений.

² «Господство над природой, проявляющееся себя в практике человечества, есть результат объективно верного отражения в голове человека явлений и процессов природы, есть доказательство того, что это отражение

Проведенное на предшествующих страницах сопоставление двух родов функционирования воспринимающих систем организма, пока еще столь неравных по давности их выявления наукой и по степени изученности, позволит осветить несколько по-новому и некоторые черты механизма действия «классических» сигнальных процессов включения или дифференцировочного торможения рефлекторных реакций.

Еще задолго до того, как телемеханика подтвердила существенную принципиальную *условность* пусковых или переключаемых кодов, этот же факт был установлен на биологическом материале знаменитым открытием И. П. Павлова. Факт, что любой раздражитель из числа доступных восприятию может быть с одинаковой легкостью превращен в пусковой сигнал для того или другого органического (безусловного) рефлекса, оказался в дальнейшем чрезвычайно универсальным.

Как показали последующие работы павловской школы (А. Д. Сперанский), во всем комплексе физиологических функций, вплоть до самих, казалось бы, недостижимых глубинных процессов гормонального или клеточно-метаболического характера, нет ни одного отправления, которое не могло бы быть подсоединено (в принципе одним и тем же методом) к любому пусковому раздражителю. Этот замечательный индифферентизм нервных систем к содержанию и качеству пусковых сигналов был отмечен И. П. Павловым уже в самом начальном периоде изучения открытого им круга явлений. Об этом свидетельствует и наименование, дан-
(в пределах того, что показывает нам практика) есть объективная, абсолютная, вечная истина» (Ленин В. И. Сочинения. — 4-е изд. — Т. 14. — С. 177).

¹ Условность в обсуждаемом плане, не требуя объективности, разумеется, не исключает ее и не противоречит ей. Кому же сделанное здесь противопоставление и разграничение сигнально-пусковой и коррекционной функций рецепторов намеренно проведено более резко и альтернативно, чем это имеет место в физиологической действительности, где, несомненно, оба вида функционирования могут и налажаться друг на друга во времени, и переходить один в другой.

ное раздражителем, вновь искусственно прививаемым к стволам старых прижженных рефлексов, — *условные* раздражители. Название, предложенное В. М. Бехтеревым, — сочетательные раздражители и рефлексы — менее глубоко в отношении внутреннего смысла явлений, но зато вплотную подводит к схеме их механизмов, которая к нашему времени уяснилась уже вполне отчетливо.

Для превращения любого надпорогового агента в условный пусковой раздражитель того или другого органического рефлекса требуется всегда обеспечение двух условий: 1) главного — встречи или сочетания в пределах обычно небольшого интервала времени этого агента с реализацией данного рефлекса и 2) побочного — некоторого числа повторений такого сочетания. Первое из этих условий прямо относит разбираемый феномен к циклу *ассоциаций по смежности*, как раз характеризующихся безразличием к смысловому содержанию ассоциируемых представлений или рецепций. Интересно отметить, что для преобразования индифферентного раздражителя в условнопусковой существенно совмещение его с *эффекторной*, а не с *афферентной* частью безусловного рефлекса, которая мобилизуется в типовом эксперименте только как средство заставить сработать эффекторную полу-ду- Это доказывается, например, фактом осуществимости так называемых условных рефлексов второго порядка, когда индифферентный раздражитель приобретает пусковые свойства для данного рефлекса, несмотря на то, что эффе-кторная часть последнего запускается в действие не безусловным, а ранее привитым к рефлексу условным же раздражителем первого порядка.

Другое доказательство сказанного можно усмотреть в том, что в методах, применяемых при дрессировке, поощри-тельное подкрепление «безусловным» афферентным им-пульсом подкормки животного производится *после* правиль-ного выполнения им требуемого действия по соответствующей условной команде и не является при этом безусловным пусковым раздражителем дрессируемого действия. Эта недооценивавшаяся раньше деталь заслуживает внимания в на-

стоящем контексте потому, что образование ассоциативной связи в мозгу между условным *афферентным* процессом и *эф-фекторной* частью рефлекса, как нам кажется, можно осмыс-лить, только если эффекторная реализация рефлекса отража-ется (опять-таки по кольцевой обратной связи) назад в цент-ральную нервную систему и может уже сочетаться ассоциа-тивно с афферентным же процессом условного раздражения. Это могло бы послужить еще одним подтверждением того, что возвратно-афферентационные акты как непосредственные со-участники процесса и в классических рефлексах — «дугах» — не отсутствуют, а лишь пока ускользают от наблюдения.

Второе из условий образования условной связи, названное выше побочным, а именно надобность некоторого числа по-вторных сочетаний, было бы трудно объяснить сейчас иначе, как необходимостью для подопытной особи выделить приви-ваемую новую рецепцию из всего хаоса бомбардирующих ее извне воздействий. Число повторений должно оказаться до-статочным для того, чтобы определилась *неслучайность* со-вмещения во времени интеро- или проприоцепции реализую-щего рефлекса именно с данным элементом всей совокупно-сти экстерорецепций. В этом смысле — в отношении необхо-димого и достаточного числа повторений — раздражитель, ин-дифферентный по своему смысловому содержанию, может оказаться относительно труднее и длительнее вычлениваемым как могущий не привлечь к себе интереса и внимания («ори-ентировочной реакции») особи. Старую наивно-материали-стическую концепцию о постепенных «проторениях» путей или синаптических барьеров в центральной нервной системе можно уже считать сланной в архивы науки¹.

Если *какая-либо* индифферентная рецепция раз за разом, без пропус-ков сопутствует во времени тому или иному безусловному процессу, на-пример интерорецепции слюноотделения и т. п., то так называемая ве-роятность в *posteriori* того, что это совмещение не случайно, сама по се-бе растет очень быстро и уже после десятка повторений весьма мало от-личается от единицы. Но для образования замыкания необходимо еще, чтобы сам индифферентный раздражитель и факт постоянства совме-щения обеих стимуляций привлекли к себе внимание, т. е. процессы ак-тивной рецепции особи.

В нескольких словах заслуживает упоминания факт, который и в свете новых приобретений регуляционной физиологии продолжает оставаться неясным. Структура почти всех изучавшихся условных сочетаний такова, что К органической, безусловной эффекторной полудуге прививается новый условный афферентный пусковой сигнал. Разнообразие как безусловных эффекторных процессов, так и/афферентных «позывных», которые могут быть привязаны к первым, совершенно безгранично; но неизвестно почти ни одного случая, который обнаружил бы обратную структуру условной связи: прицепление нового; условного эффекторного окончания к безусловной афферентной полудуге. До некоторой степени случаи такого обратного типа наблюдались в давнишних опытах М. Е. Ерофеевой (1912), но сам И. П. Павлов¹, цитировавший их в своих «Лекциях о работе больших полушарий», сопровождает их описание рядом ограничений и оговорок. Как бы ни был объяснен в дальнейшем такой «структурный парадокс», ясно, что инертная неизменяемость именно эффекторной полудуги реально осуществимых условно-двигательных рефлексов чрезвычайно затрудняет использование их структурного механизма для обучения незнакомым движениям, образования и усовершенствования двигательных навыков и сноровок и т. п.

Рассмотрение вопроса о сигнальных кодах и их сочетательной роли в аспекте регуляционной физиологии способно, как нам кажется, по-новому осветить вопрос о так называемой второй сигнальной системе. Из всего проанализированного выше ясно, что при ничем не ограниченном разнообразии возможных условносигнальных кодов в их число могут входить и речевые фонемы, вовсе не образуя в этой своей роли какого-либо особого класса и нуждаясь, как и все раздражения, пригодные для роли сигналов, только в восприимчивости и распознаваемости. Никто не приписывал собаке, медведю, морскому льву, кошке обладание второй

сигнальной системой или архитектурными полями, гомологичными полю Вернике человека. Между тем любое из этих животных (даже не сплошь «высших» млекопитающих) дрессируется на словесные сигналы с такой же легкостью, с какой образуются у них условные замыкания и дифференцировки на другие виды раздражений. Эти фонематические сигнальные коды, ничем существенным не выделяющиеся из других кодов, могли генетически у первобытного человека явиться зародышами фонем — приказов, своего рода рудиментарными повелительными наклонениями, из которых впоследствии эволюционировали речевые формы глагола¹.

С другой стороны, назывательные элементы речи, из которых у человека сформировалась категория имен, никогда не несли и не могли, разумеется, нести какой-либо сигнальной функции в определенном выше смысле. Поэтому трактовка «второй сигнальной системы» как системы словесного отображения предметов (вообще первичных рецепций внешних объектов, образующих по этой концепции в совокупности «первую сигнальную систему»), что полностью проявляется и в составе словника, применяемого в экспериментах по так называемой речедвигательной методике, представляется результатом глубоко ошибочного смешения двух резко различных физиологических функций и речевых категорий. Слова как сигналы не образуют никакой особой системы и в роли пусковых фонем полностью доступны многим животным, еще чрезвычайно далеким от функции речи. Слова и речь как отражение внешнего мира в его статике (имена) и динамике действий и взаимодействий с субъектом (глаголы, суждения) действительно образуют систему, доступную и свойственную только человеку. Но обозначать речь, достиг-

¹ Павлов И. П. Полное собрание сочинений. — М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1947. — т. IV. — С. 434-45.

¹ Должен оговорить здесь, во-первых, что в сказанном не заключается никакой попытки предпринять хронологический порядок, в каком у первобытного человека могли возникнуть и формироваться глагольные и номинативные категории речи, и, во-вторых, что я оставлю совершенно в стороне известные языковедам явления вторичного приобретения номинативными элементами примитивных языков побудительно-сигнальных значений.

шую этой ступени значения и развития, как *сигнальную* систему, - значит подменять ее одним из самых несущественных и рудиментарных ее проявлений¹.

Идея второй сигнальной системы, несомненно, явилась одним из следствий упоминавшегося выше методологического ущерба, понесенного физиологией из-за признания ею одной только сигнально-пусковой роли рецепторики и недооценки ее важнейших биологических и социальных функций: познания через действие и регуляции активного воздействия на окружающий мир. Знак равенства, ставившийся между понятиями рецещи и сигнала, вынуждал относить к категории сигналов и перцепируемое слово. Между тем нельзя было пройти мимо огромного-качественного своеобразия речи как специфически присущего виду *Homo sapiens* символического отображения воспринимаемого мира и себя самого в нем. Упомянутая уже выше терпимость к атомизму легко позволила зато пройти мимо *структурности* речи (делающей ее не скоплением слов, а орудием мышления) и трактовать ее как сумму слов — сигналов преимущественно конкретно-предметного содержания.

Отечественная физиология сумела избежать другой, гораздо более важной гносеологической ошибки, в которую легко впадали многие мыслители западного мира и которая также целиком проистекает из одностороннего понимания рецепторной функции: от несомненного факта примиримости безукоризненного функционирования рефлекторных приборов с полной условностью вызывающих их сенсорных кодов очень легко соскользнуть на путь признания символичности всяких вообще рецещий, условности картины мира в мозгу и психике, непознаваемости объективной

¹ К сказанному стоит добавить, что построение автомата-робота, способного к пониманию речи, для сегодняшней техники - задача совершенно безнадежная. Робот же, способный дифференцированно реагировать на несколько разных подаваемых ему голосов словесных приказов-фонем, может быть уже теперь создан без каких-либо принципиальных затруднений.

реальности и прочих идеалистических концепций, давно и неопровергнутых подлинной наукой.

Перейдем к уточненному анализу механизмов двигательной координации у высших организмов, имея в виду две задачи: 1) извлечь из этого анализа максимум доступных на сегодняшний день указаний на общие закономерности механизмов управления и 2) попытаться выявить, в чем состоит то своеобразие моторики высших животных, в особенности Человека, которое резко качественно ограничивает ее действия и ресурсы от всего того, чего мы можем ожидать от автоматной техники сегодняшнего и, вероятно, даже завтрашнего дня. Мне неизбежно придется касаться многих пунктов, в свое время уже подробно проанализированных (*Бернштейн*, 1946, 1947). Во избежание неуместных повторений и в настоящем очерке буду излагать их как можно кратко, лишь для соблюдения непрерывности логической линии изложения. Здесь будет более правильно постараться дополнить и углубить затрагивавшиеся там вопросы, преимущественно касающиеся основных, принципиальных механизмов координационного управления, попутно исправляя ошибки, выяснившиеся к настоящему времени.

• Первое резкое биомеханическое отличие двигательного аппарата человека и высших животных от любого из искусственных самодельствующих устройств, неоднократно подчеркивавшееся, состоит в огромном, выражающемся трехзначными числами количестве доступных ему *степеней свободы* как кинематических, зависящих от многозвенности его свободно сочлененных кинематических цепей, так и эластических, обусловленных упругостью движущих тяг - мышц и отсутствием в силу этого однозначных отношений между мерой активности мышц, ее напряжением, длиной и скоростью ее изменения. Для уяснения того, как осложняет управление движением каждая лишняя степень свободы, ограничу здесь двумя примерами.

Судно на поверхности моря имеет три степени свободы (если пренебречь движениями качки), но практически достоянием является управление одной-единственной степенью — направлением, или *курсом*, так как на морских просторах, если судно отклоненное чем-нибудь от курса, восстановит прежнее *направление*, то ему нет необходимости возвращаться на старую *траекторию* вполне достаточно продолжать путь параллельно ей в паР^к кабельтовых в ту или другую сторону. Эта задача успешно решается компасным автопилотом. Но представим себе автомобиль, который должен ехать по *шоссе ограниченной ширины*, автоматически выполняя все встречаемые кривизны и повороты. Здесь уп^л авлению практически подлежат *всего две степени* свободы его подвижности.

Анализ показывает, что независимо от способа получения машинной информации о ходе шоссе (относительно, например, его средней линии), будут ли они восприниматься фото-, электро-, механорецепторами и т. д., блок-схема такого автомата рулевого управления, способного вести автомобиль по изгибам шоссе, удерживая его близ линии, должна содержать: 1) рецептор расстояния от линии с его знаком $re^{*} = R_{\text{сиг}} - R_{\text{у}}^{*}$ между осью машины и средней линией с' его знаком, 3) рецептор фактической кривизны пути 4) суммирующий смеситель и 5) систему регуляторов для гашения паразитных «болтаний» машины в ту и другую сторону от куР^к. Столько осложнений вносится в проблему автоматизации всего одною лишней степенью свободы. Насколько мне известно, автомат подобного рода еще никогда не был создан.

Полезно отметить, что огромная трудность его осуществления отнюдь не в сигнализации или устройстве рецепторов названных типов: то и другое имеется и сейчас на вооружении автоматики. Вся трудность состоит в организации *центральной передачи информации*, получаемых на входе от фотозадающих или магнитных реле, в качество, силу и последовательность импульсов, управляющих сервомоторами рулевого аппарата.

Второй пример для сопоставления приведу из области нормальной координации движений человека при нормальной работе всех его афферентных органов и лишь в условиях необычной двигательной задачи. Прицепите спереди к пряжке своего пояса верхний конец лыжной палки на конце, несущем колесико, прикрепите груз в 1—2 кг, а к колесу справа и слева привяжите по резиновой трубке достаточной длины для того, чтобы можно было взять концы каждой в правую и левую руку. Направив палку острием вперед, станьте перед вертикальной доской, на которой крупно начерчен круг, квадрат или иная простая фигура, и постарайтесь, манипулируя только потягиванием за резиновые трубки, обвести острием палки начерченную фигуру. Палка изображает здесь одно звено конечности с двумя кинематическими степенями свободы, трубки — аналоги всех мышц-антагонистов, привносящих в систему еще две упругие степени свободы. Этот опыт (очень демонстративный при его показе в аудитории) убедит каждого, испробовавшего его в роли исследуемого, какая нелегкая и малопослушная для координирования вещь — всего четыре степени свободы, когда к услугам человека, даже находящегося во всеоружии всех своих рецепторов, не имеется моторного опыта, приобретаемого по отношению к костно-мышечному двигательному аппарату с самых первых недель жизни.

Определение координации, данное мной в упоминавшихся работах, кажется мне и сейчас наиболее строгим и точным. *Координация движений есть преодоление избыточных степеней свободы движущегося органа, иными словами — преобразование его в управляемую систему.* Короче, координация есть *организация управляемости* двигательного аппарата. В основном определении с намерением говорится не о закреплении, приторможивании и т. п. избыточных степеней свободы, а об их *преодолении*. Как показали экстенсивные работы с детьми (см. очерк 6-й), фиксация, устранившая упомянутый избыток, применяется как наиболее примитивный и невыгодный путь лишь в самом начале освоения двига-

тельного умения, сменяясь затем более гибкими, целесообразными и экономичными путями преодоления этого избытка *через организацию* всего процесса. Какую преобладающую роль может играть именно организация регуляционных взаимодействий даже в нехитром случае управления только двумя степенями свободы, мог показать уже наш первый пример с автопилотажом вдоль шоссе.

В своих работах о построении движений и частично в предыдущих очерках этой книги я подробно останавливался на причинах, создающих биодинамическую необходимость организованных по кольцевому принципу механизмов двигательной координации, и на некоторых обнаруженных наблюдением чертах тех, физиологических процессов контрольного взаимодействия, которые обеспечивают координационное руководство движением при посредстве сенсорных синтезов разных уровней построения. Там было показано, какое огромное место в ряду непредусмотримых и практически неподвластных сил, требующих непрерывного восприятия и преодоления, занимают наряду с внешними силами *^е-активные силы*, неизбежно возникающие при движениях в многозвенных кинематических цепях органов движения и усложняющиеся в огромной прогрессии с каждым лишним звеном сочленовой цепи и с каждой новой степенью свободы подвижности. Не затрагивая здесь более этой чисто биодинамической стороны проблем, обратимся к вопросу, оставшемуся в тени в названных выше работах, но все более назревающему в ходе современного развития физиологической мысли. Если двигательная координация есть, система механизмов, обеспечивающая управляемость двигательного аппарата и позволяющая утилизировать с уверенностью всю его богатую и сложнейшую подвижность, то что можно сказать к настоящему времени о путях и механизмах самого управления двигательными актами? В каких отношениях могут уловимые для нас в настоящее время закономерности этого управления оказаться полезными для интересов прикладной кибернетики (бионики) и какие из сторон или

Свойств этих закономерностей отсеются как наиболее специфические для нервных систем высших животных и человека и поэтому наиболее способные осветить ту пропасть, которая пока еще (и, видимо, надолго) качественно разделяет достижения автоматик от реализующейся в двигательных актах жизнедеятельности высокоразвитых организмов?

Предварительно нужно вкратце остановиться на некоторых вопросах терминологии и попытаться систематизировать известные на сегодняшний день принципиальные схемы саморегулирующихся устройств (в дальнейшем для краткости мы будем обозначать этот термин первыми буквами - СУ) с интересующих нас проблемных позиций.

Все системы, саморегулирующиеся по какому-либо параметру, постоянному или переменному, обязаны, как минимум, содержать в своем составе следующие элементы:

- 1) *эффектор* (мотор), работа которого подлежит регулированию по данному параметру;
- 2) *задающий элемент*, вносящий тем или другим путем в систему требуемое значение регулируемого параметра;
- 3) *рецептор*, воспринимающий фактические текущие значения параметра и сигнализирующий о них каким-либо способом в прибор сличения;
- 4) *прибор сличения*, воспринимающий расхождение фактического и требуемого значений с его величиной и знаком;
- 5) *устройство, перешифровывающее* данные прибора сличения в коррекционные импульсы, подаваемые по обратной связи на регулятор;
- 6) *регулятор*, управляющий по данному параметру функционированием *эффектора*.

Вся система образует, таким образом, замкнутый контур взаимодействий, общая схема которого дана на рис. 55. Между перечисленными элементами нередко бывают включены не имеющие принципиального значения вспомогательные устройства: усилители, реле, сервомоторы и т. п.

Для значений регулируемого параметра очень удобными представляются краткие термины, применяемые немецки-

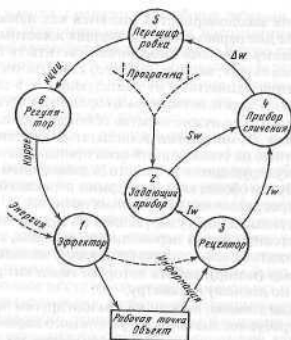


Рис. 55. Простейшая блок-схема аппарата управления движениями

ми авторами; ими целесообразно пользоваться и у нас. Требуемое значение будет в последующем тексте обозначаться Sw (от немецкого Sollwert), фактическое значение — Iw (Istwert), расхождение между тем и другим, воспринимаемое элементом 4, точнее говоря, избыток или недостаток Iw над Sw ($Iw - Sw$) — символом Aw .

В примере, приводимом Wiener по идее его партнера Rosenbluth, координационное управление жестом взятия видимого предмета со стола рассматривается как непрерывная оценка уменьшения того куска пути, какой еще остается пройти кисти руки до намеченного предмета. При всей правомерности обозначения места предмета как Sw , текущего положения кисти — как Iw , а планомерно убывающего расстояния между ними — как переменной $Aw = (Iw - Sw)$ я

400

должен пояснить здесь же, что и выше, и в дальнейшем рассматриваю координационный процесс в микроинтервалах пути и времени, опираясь на данные, собранные за годы работы моей и моих товарищей. Поэтому в рамках настоящего очерка я рассматриваю как переменный Sw весь непрерывный запланированный путь, или процесс движения органа, а как Iw — фактически текущие координаты последнего. В связи с этим Aw в настоящем контексте — это пороговые отклонения, корректируемые более или менее исправно по ходу движения. Примером их могут служить отклонения линии, проводимой от руки карандашом или острием планиметра, от начерченной линии, которую требуется обвести. В нашем смысле, следовательно, Aw есть не планомерно убывающая макродистанция, а колеблющаяся, то возникающая, то погашаемая с тем или иным успехом малая величина переменного знака и направления.

Центральным командным постом всей кольцевой системы СУ является, конечно, ее задающий элемент 2. По характеру задаваемого им Sw все мыслимые виды СУ разделяются на два больших класса: СУ с фиксированным, постоянным значением Sw (так называемые Стабилизирующие системы) и СУ с меняющимися по тому или другому принципу значениями Sw (следящие системы). Закон хода изменений задаваемого Sw принято именовать программой функционирования СУ. Смена последовательных этапов реализации программ может быть скачкообразной или непрерывной и являться в разных случаях функцией времени, пути рабочей точки мотора — эффектора, промежуточного результативного этапа и т. д. В наиболее сложных и гибких системах могут переключаться, сменяя одна другую, и сами программы.

Наиболее примитивные по своим функциям стабилизирующие системы представляют в нашем аспекте наименьший интерес, хотя напоминающие их по типу рефлекторно-кольцевые регуляции можно встретить и среди физиологических объектов. Технические примеры подобных систем многочисленны, начиная с центробежного регулятора скорости

паровых машин, изобретенного еще Watt. Биологическим примером может служить прессорегуляторная система стабилизации артериального давления, подробно экспериментально изучавшаяся с этой точки зрения и я Wagner (1954). Двигательный аппарат организма во всех своих отправлениях и по самому существу биодинамики организован по принципу *СУ следящего типа* с непрерывной программной сменой последовательных регуляционных систем в каждом конкретном случае того или иного движения.

Все элементы простейшей схемы холодового управления, содержащиеся в нашем перечне (см. рис. 55), обязательно должны и в составе чертежа (есть в том или другом виде и в органических регуляторных системах, в частности в системе управления движениями, наши познания об этих структурных элементах живого двигателя аппарата очень неравномерны. О физиологических свойствах и даже о нервных субстратах элементов 5 и 6 мы совершенно ничего не знаем. Движущие элементы /, моторэффекторы наших движений — скелетные мышцы, наоборот, принадлежат к числу объектов, наиболее глубоко и обстоятельно изученных физиологией и биофизикой. Работа элемента 3 схемы — рецепторного комплекса — изучена подробно, но, одностронне, как было показано в первой части очерка, и в нашем аспекте содержит в себе еще чрезвычайно много невыясненных сторон. Здесь я попытаюсь по (итожить в последовательном порядке то, что можно высказать как утвердительно, так и предположительно (с определенной степенью вероятности) о физиологическом облике элементов 2, 4 и 3 схемы управления двигательными актами, и попутно постараюсь отметить как очередные в этой теме вопросы, к которым мы уже подходим вплотную, но которые еще очень далеки сейчас от своего решения. Начиная этот обзор следует с «командного пункта» схемы — с задающего элемента 2.

Каждое осмысленное, целенаправленное движение возникает как ответ на двигательную задачу, определяющуюся прямо или косвенно совокупной ситуацией. В том, каким

именно двигательным актом индивид (животное или человек) наметит решение этой задачи, заложен и корень той и другой программы, которая будет реализовываться задающим элементом. Что же представляет собой такая программа управления движением и чем она управляется в свою очередь?

В книге «О построении движений» (1947) я подробно останавливался на том, как возникают, как возвратно действуют на движение сенсорные коррекции. Здесь надлежит коснуться другого вопроса: что именно они корригируют, что может направлять ход и сущность этого корригирования?

Наблюдение над простейшими движениями из категории «холостых» (проведение прямой линии по воздуху, по точкам и т. п.) может создать впечатление, что ведущим принципом программной смены систем, по которым реализуются коррекции движения, является геометрический образ этого движения: соблюдение прямолинейности, если требовалось провести прямую, соблюдение направления, если нужно было показать пальцем точку, и т. д. Между тем в таком судении содержится ошибка принятия частного за общее. В названных видах движений корригирование действительно ведется по геометрическому образу, но только потому, что именно в этом и заключается здесь поставленная задача. У во втором из наших примеров геометрический ведущий элемент движения сжимается в одну точку в поле зрения, и достаточно познакомиться с циклографическими записями движений показа пальцем точки, выполненных с оптимальной точностью и ловкостью, чтобы убедиться, что повторных жестов одного и того же субъекта было выполнено не несколько совпадающих между собой траекторий, собирающихся как в фокус, только близ самой целевой точки показа. Значит, геометрический принцип корригирования ограничивается тем возможным по смыслу минимумом протяженных движений, который существенно необходим, уступая в фундаментальных частях движения место каким-то другим ведущим принципам. А в том, что они, несомненно, имеются в ка-

паровых машин, изобретенного еще Watt. Биологическим примером может служить прессо-рецепторная система стабилизации артериального давления, подробно экспериментально изучавшаяся с этой точки зрения Wagner (1954). Двигательный аппарат организма во всех своих отправлениях и по самому существу биодинамики двигательных процессов организован по принципу *СУ следующего типа* с непрерывной программной сменой последовательных регуляционных *Sw* в каждом конкретном случае того или иного движения.

Все элементы простейшей схемы кольцевого управления, содержащиеся в нашем перечне и в составе чертежа (см. рис. 55), обязательно должны иметься в том или другом виде и в органических регуляционных системах, в частности в системе управления движениями. Наши познания об этих структурных элементах живого двигательного аппарата очень неравномерны. О физиологических свойствах и даже о нервных субстратах элементов 5 и бмы совершенно ничего не знаем. Движущие элементы 1, моторэфекторы наших движений — скелетные мышцы, наоборот, принадлежат к числу объектов, наиболее глубоко и обстоятельно изучены их физиологией и биофизикой. Работа элемента 3 схемы — рецепторного комплекса — изучена подробно, но односторонне, как было показано в первой части очерка, и в нашем аспекте содержит в себе еще чрезвычайно много невыясненных сторон. Здесь я попытаюсь подытожить в последовательном порядке то, что можно высказать как утвердительно, так и предположительно (с порядочной степенью вероятности) о физиологическом облике элементов 2, 4 и 3 схемы управления двигательными актами, и попутно постараюсь отметить как очередные в этой области те вопросы, к которым мы уже подходим вплотную, но которые еще очень далеки сейчас от своего решения. Начать этот обзор следует с «командного пункта» схемы — с задающего элемента 2.

Каждое осмысленное, целенаправленное движение возникает как ответ на двигательную задачу, определяющуюся прямым или косвенно совокупной ситуацией. В том, каким

именно двигательным актом индивид (животное или человек) наметит решение этой задачи, заложен и корень той или другой программы, которая будет реализоваться задающим элементом. Что же представляет собой такая программа управления движением и чем она управляется в свою очередь?

В книге «О построении движений» (J947) я подробно останавливался на том, как возникают, как возвратно действуют на движение сенсорные коррекции. Здесь надлежит коснуться другого вопроса: *что именно* они корректируют и что может направлять ход и сущность этого корректирования.

Наблюдение над простейшими движениями из категории «холостых» (проведение прямой линии по воздуху, показ точки и т. п.) может создать впечатление, что ведущим принципом программной смены *Sw*, по которым реализуются коррекции движения, является геометрический образ этого движения: соблюдение прямолинейности, если требовалось провести прямую, соблюдение направления, если нужно было показать пальцем точку, и т. д. Между тем в таком суждении содержится ошибка принятия частного за общее. В названных видах движений корректирование действительно ведется по геометрическому образу, но только потому, что именно в этом и заключается здесь поставленная задача. Уже во втором из наших примеров геометрический ведущий элемент движения сжимается в одну точку в поле зрения, и достаточно познакомиться с циклографическими записями движений показа пальцем точки, выполненных с оптимальной точностью и ловкостью, чтобы убедиться, что *N* повторных жестов одного и того же субъекта было выполнено по *N* не совпадающих между собой траекторий, собирающихся, как в фокус, только близ самой целевой точки показа. Значит, геометрический принцип корректирования ограничивается тем возможным по смыслу минимумом протяжения, движения, который существенно необходим, уступая в остальных частях движения место каким-то другим ведущим принципам. А в том, что они, несомненно, имеются в каж-

дом микроэлементе жеста показа, убеждает уверенность и быстрота его протекания (сравните с жестом атактика!), атажке завершение его безупречным попаданием в цель.

Ошибка «принятия частного за общее» становится очевидной, как только мы переключимся от движений, геометрических по смыслу задания, к двигательным актам других типов. Если взять под наблюдение относительно простые целевые двигательные акты из числа тех, которые повторяются много раз и в связи с этим поддаются так называемой автоматизации, то можно убедиться, что обуславливающая их двигательная задача (обычная или спортивная локомоция, трудовой процесс и т. п.) начинает разрешаться достаточно удовлетворительно во много раз раньше, чем движение автоматизируется и стабилизируется до значительной геометрической стандартности повторений, в очень многих случаях уже с первых проб. Таким образом, кинематический двигательный состав акта, его геометрический рисунок, отнюдь не является той обязательной инвариантой, которая обуславливала бы успех выполняемого действия. Если же от простейших и часто повторяемых двигательных актов перейти к более сложным, нередко цепным, предметным действиям, связанным с преодолением внешних переменных условий и сопротивлений, то широкая вариативность двигательного состава действия становится уже всеобщим правилом.

А
11

Неизбежен вывод, что, говоря макроскопически о программе двигательного акта в целом, мы не находим для нее другого определяющего фактора, нежели образ или представление того результата действия (концевого или поэтапного), на который это действие нацеливается осмыслением возникшей двигательной задачи. Как именно, какими физиологическими путями может образ предвидимого или требуемого эффекта действия функционировать как ведущий определитель двигательного состава действия и программы отправления задающего элемента — это вопрос, на который еще и не начал намечаться сколько-нибудь конкретный и обоснованный ответ. Но какой бы вид двигательной актив-

ности высших организмов, от элементарнейших действий до цепных рабочих процессов, письма, артикуляции и т. п., ни проанализировать, ни где, кроме смысла двигательной задачи и предвосхищения искомого результата ее решения, мы не найдем другой ведущей инварианты, которая определяла бы от шага к шагу то фиксированную, то перестраиваемую на ходу программу осуществления сенсорных коррекций.

Привлечение мной для характеристики ведущего звена двигательного акта понятия образа или представления результата действия, принадлежащего к области психологии, с подчеркиванием того факта, что мы еще не умеем назвать в настоящий момент физиологический механизм, лежащий в его основе, никак не может означать непризнания существования этого последнего или исключения его из поля нашего внимания. В неразрывном психофизиологическом единстве процессов планирования и координации движений мы в состоянии в настоящее время нащупать и назвать определенным термином психологический аспект искомого ведущего фактора, в то время как физиология, может быть, в силу отставания ее на фронте изучения движений (о котором было сказано выше), еще не сумела вскрыть его физиологического аспекта. Однако *ignotus* не значит *ignobilis*. Уже самое название настоящего очерка подчеркивает, что его задачей в большей мере было поставить и заострить еще не решенные очередные вопросы, нежели ответить на поставленные раньше.

В 8-й главе упомянутой книги был дан подробный разбор того, как и под действием каких причин оформляется и стабилизируется двигательный состав многократно выполняемого действия при образовании так называемого двигательного навыка путем упражнений. В порядке короткого извлечения подчеркну здесь, что даже в таких однообразно повторных актах изменчивость двигательного рисунка и состава вначале бывает очень большой, и более или менее фиксированная программа находится, а тем более осваивается упражняющимся не сразу.

Самая суть процесса упражнения по овладению новым двигательным навыком состоит в постепенно ведущем к цели искании оптимальных двигательных приемов решения осваиваемой задачи. Таким образом, правильно поставленное упражнение повторяет раз за разом не то или другое *средство решения* двигательной задачи, а *процесс решения* этой задачи, от раза к разу изменяя и совершенствуя средства. Сейчас уже для многих очевидно, что «упражнение есть своего рода повторение без повторения» и что двигательная тренировка, игнорирующая эти положения, является лишь механическим зазубриванием — методом, давно дискредитированным в педагогике¹.

Несколько более конкретно можно высказаться относительно *микроструктуры* управления непрерывно текущим двигательным процессом. В какой бы форме ни конкретизировался ход перешифровки общей ведущей директивы образа предвосхищаемого решения в детализированные элементы *Sw* направления скорости, силы и т. д. каждого предельно малого (точнее, пороговмалого — см. ниже) отрезка движения, неоспоримо, что в низовые инстанции задающего комплекса поступают именно раздетализованные подобным микроскопическим образом *Sw*. Нужно отметить, что столкновение каждой текущей проприоцепции (в широком или функциональном смысле понятия) с очередным мгновенным направляющим значением *Sw* выполняет минимум три различные, одинаково важные для управления нагрузки.

Во-первых, та или иная мера расхождения между *Iw* и *Sw* (*Δw*) определяет, проходя через кольцевую схему, те или другие коррекционные импульсы. Об этой стороне процесса скажем более подробно при обсуждении «элемента сличения» 4. Во-вторых, в рецепции — информации о том, что та-

¹ В спортивно-гимнастических упражнениях двигательный состав (так называемый стиль) входит как неотъемлемая часть в смысловую сторону осваиваемой задачи. Поэтому здесь необходима пристальная забота тренера об определенном оформлении и быстрой стабилизации двигательного состава учащегося, но это ни в чем не противоречит выше сказанному выше положению о правильной постановке упражнения.

кой-то очередной пункт реализации двигательного акта достигнут, содержится и побудительная импульсация к переходу или переключению *Sw* на следующий очередной микроэлемент программы. Эта сторона функционирования более всего напоминает то, что обозначается П. К. Анохиным (1949) термином «санкционирующая афферентация».

Наконец, в этой же текущей рецепции содержится и третья сторона, по-видимому, одно из тех явлений, которые всего труднее поддадутся модельному воспроизведению. В каждом двигательном акте, связанном с преодолением внешних неподвластных и изменчивых сил, организм беспрестанно сталкивается с такими нерегулярными и чаще всего непредвидимыми осложнениями, сбивающими движение с намеченной программой дороги, которые невозможно или крайне нецелесообразно осиливать коррекционными импульсами, направленными на восстановление во что бы то ни стало прежнего плана движения. В этих случаях рецепторная информация действует как побудитель к приспособительной перестройке самой программы «на ходу», начиная от небольших, чисто технического значения переводов стрелки движения на иную, рядом пролегающую трассу и кончая качественными реорганизациями программы, изменяющими самую номенклатуру последовательных элементов и этапов двигательного акта и являющимися, по сути дела, уже принятиями новых тактических решений. Такие переключения и перестройки программ, по данным рецепторных информации, гораздо более часты, чем можно подумать, так как во многих случаях они осуществляются низовыми координационными уровнями, не привлекая на помощь сознательного внимания (с этим согласится каждый ходивший хотя бы раз в жизни не по паркету).

В книге «О построении движений» (1947) подробно изложено, как при организации и освоении двигательного акта многочисленны виды и ранги коррекционных процессов распределяются между взаимодействующими «фоновыми» уровнями координационного управления. Как было там

сформулировано, то, что мы называем *автоматизацией* двигательного акта, есть постепенно осуществляющаяся передача многочисленных технических (фоновых) коррекций в нижележащие координационные системы, сенсорные синтезы которых организованы наиболее адекватно для коррекций именно данного рода и качества. Общее, почти не знающее исключений правило об уходе из поля сознания всех слагающих процессов коррекционного управления, кроме прямо относящихся к ведущему уровню данного двигательного акта, и явилось причиной придания такой доуровневой разверстке коррекций наименования автоматизации. Здесь полезно будет подчеркнуть, что имеющая место у высших организмов (а в наибольшей мере у человека) столь разносторонняя и богато сенсорно оснащенная иерархическая система координационных уровней, способных в порядке кольцевого управления как к реализации, так и к мгновенным смысловым перестройкам разнообразнейших программ движения, является, видимо, в равной степени и следствием громадного упоминавшегося ранее обилия степеней свободы двигательного аппарата (который только такая сложная система и способна сделать управляемым), и биологической-причиной того, что организмы, владеющие столь мощным центральным аппаратом управления движениями, могли безопасно для себя формировать в филогенезе органы движения, наделенные без счета степенями кинематической и динамической свободы подвижности.

Теперь следует обратиться к элементу 4 схемы, приведенной на рис. 55. Этот элемент — прибор сличения (как он был там условно обозначен) — представляет собой интереснейший и пока глубоко загадочный физиологический объект, однако уже вполне созрелый для того, чтобы поставить на очередь его систематическое изучение.

Как и во всех искусственно создаваемых СУ, кольцевая регуляция нуждается в элементе, сопоставляющем между собой текущие значения Tw и Sw и передающую в следующие инстанции регуляционной системы ту оценку их расхожде-

ния между собой (Aw), которая и служит основой для подачи на периферию эффекторных коррекционных импульсов. Не будь налицо подобного функционального элемента в координационной системе мозга, последняя в одних только рецепциях Jw самих по себе не могла бы найти никакой почвы для включения каких бы то ни было коррекций. Здесь мы сразу сталкиваемся с совершенно своеобразным процессом, при котором сличение и восприятие различия производится *не между двумя рецепциями*, симультанными или сукцессивными (как, например, при измерениях порога различения какого-либо рецептора), а между *текущей рецепцией* и представленным в какой-то форме в центральной нервной системе *внутренним руководящим элементом* (представлением, энграммой и т. п., мы еще не знаем точно), вносящим в процесс сличения значение Sw . И в этом процессе имеют место своеобразные пороги «по сличению», как их можно было бы называть. В простейших случаях они очевидны и легко доступны измерению. Таковы, например, пороги наступления вестибулярнозрительной коррекционной реакции на начавшееся отклонение велосипедиста с его машиной от вертикальности; пороги, характеризующиеся началом коррекции движения карандаша, отклонившегося от воображаемой прямой, которую требуется провести между точками на бумаге; пороги вокального управления, которые можно определить по звуковой осциллограмме обучающегося пению, стремящегося выдерживать голосом ноту неизменной высоты, и т. п. Но наиболее интересные и своеобразные черты обсуждаемого прибора вскрываются дальше.

Одним из важных элементов контроля над двигательными процессами является рецепция текущих переменных Iw скорости. Тахометры искусственных СУ бывают построены по различным принципам, всегда, однако, привлекающим к делу какую-либо физическую величину, доступную прямому аппаратурному замеру и связанную со скоростью однозначной зависимостью (силу трения, сопротивление якоря на пружине, увлекаемого магнитным полем, и т. п.). Для нас су-

шественно, что рецепторных приборов, способных к *непосредственному восприятию* скорости, не имеется и в наших организмах. Но эта задача решается в центральной нервной системе совершенно особым образом и явно при помощи либо того же самого прибора сличения, либо его ближайшего гомолога. Рецепция текущего мгновенного положения движущегося организма сопоставляется в нем *со свежим следом* такой же рецепции мгновенного положения, имевшего место *At* времени назад. Величину L^* можно даже ориентировочно оценить в 0,07—0,12 с, как я постараюсь обосновать ниже.

Если всмотреться в протекание синтетических рецепторных процессов самого различного рода, то "вышеназванный феномен *свежих следов*" (условно обозначим его этим термином) предстанет как нечто, по-видимому, чрезвычайно универсальное и обладающее фундаментальной значимостью. При зрительном восприятии движения мы не могли бы перцепировать *не только скорость*, но и *направление* этого движения, если бы процесс восприятия не базировался на непрерывном *сличении* текущих рецепций со свежими следами едва прошедших. Когда мы воспринимаем слухом мелодию или слово, перцепируются не только отдельные последовательные элементы — звуки, но также временное течение мелодической линии или временной рисунок фоны вместе с их темпом. Мы качественно разное ощущаем секвенцию тонов, идущую вверх, от идущей вниз, фону «ва» от фоны «ав» и т. д. Если при закрытых глазах я почувствую, что по моей коже провели линию пальочкой, то восприму не просто и не только места, на которые она последовательно надавливала, но и направление, и скорость ее движения по коже как два отдельных *качества*, ощущаемые как нечто совершенно первичное. Этой своей синтетичной, слитой первичностью, а также тем, что они: а) качественно во всем подобны «сырым» рецепциям и б) держатся в активной форме только в течение малых долей секунды, «свежие следы» резко отлича-

ются от обычных явлений *памяти* — орудия длительного сохранения центрально переработанных представлений.

Управление движением требует в ряде случаев непрерывного восприятия не только текущих значений расхождения (A_w), но и скорости, с которой нарастают или убывают эти расхождения. Как справедливо отметил Wagne, часто, например, в случаях небольших, но быстро нарастающих отклонений lw , управлению принесет наибольшую пользу именно рецептор скорости изменений A_w , способный чутко реагировать на самое начало развития вредного отклонения еще раньше, чем успеет стать надпороговой сама абсолютная величина этого отклонения. Неоспоримый факт способности наших сенсорных сигналов также откликаться различно на разные скорости изменений A_w говорит о том, что и в обсуждаемом приборе сличения феномен «свежих следов» может иметь место, обуславливая процесс сопоставления уже не Tw с Sw , а свежего следа их разности (A_w), имевшейся доли секунды тому назад, со значением этой разности сейчас. Говоря математически, это процесс восприятия произведений $d(A_w)/dt$.

Несомненно, что процессы восприятия скоростей и направлений, процессы сопротивлений lw и Sw с их «свежими следами» по всем качествам рецепции и т. д. протекают фактически не непрерывно, не по дифференциалам времени dt , а по каким-то конечным малым интервалам Δt , которые следовало бы назвать пороговыми. В их основе лежат значения особого рода порогов — *временных*, видимо, находящихся в близком физиологическом сродстве как с порогом, характеризующимися скоростью психомоторных реакций, так и с физиологическими параметрами группы лабильности, рефрактерности, константы адаптации и т. п. и требующих, конечно, безотлагательного пристального изучения. Нет сомнения, что уже сейчас психофизиологи — специалисты по органам чувств — будут в состоянии дополнить и исправить высказанное по поводу «свежих следов» важными для осве-

шения вопроса материалами¹. Я же хотел бы в порядке рабочей гипотезы изложить здесь следующие соображения.

Еще в 30-х годах М. Н. Ливанов нашел, что амплитуды пиков бета-волн на электроэнцефалограммах заметным образом изменяют свою величину от вершин к впадинам альфа-волн, как бы модулируясь последними, что могло свидетельствовать о каких-то периодических колебаниях возбудимости корковых элементов, протекающих в ритме альфа. Walter (1954) отметил, что нижний пороговый предел частоты слияния мельканий, киноизображений и т. д. в зрительном аппарате близко совпадает с частотой альфа-ритма, даже индивидуально меняясь параллельно с последней. Не случайно кажется, что нижний порог частоты, уже сливаемой слухом в специфическое сенсорное качество звука, лежит в той же полосе частот. Далее, еще не опубликованные ориентировочные наблюдения В. С. Гурфинкеля над держанием и движением незагруженной руки, а также циклограмметрические наблюдения Л. В. Чхаидзе (1956) над ритмами импульсов ускорений стоп велосипедиста² указывают в полном взаимном согласии на чередование обнаруживающихся тут и там коррекционных импульсов в рамках все той же частотной полосы альфа 8—14 Гц.

Не будет ли правильным думать, что эта частота есть проявление ритмических колебаний возбудимости всех или главных элементов рефлекторного кольца СУ нашего двигательного аппарата, несомненно, нуждающихся во взаимной синхронизации по ритму? Тогда мы могли бы видеть Б. ней и

¹ В частности, на очередь ставится естественный вопрос о том, в каком отношении стоят механизмы «свежих следов» к психофизиологическим механизмам всей обширной категории энграммирования и памяти. Данные последних лет со все возрастающей убедительностью говорят о сложности и многоликости той биологической первостепенной по значимости категории процессов, которые обеспечивают запечатление, хранение и передачу информации. Дальнейшие исследования покажут, насколько обособно стоят феномены «свежих следов» от других, ранее изучавшихся видов запечатлевающей функции, каковы их анатомо-физиологические субстраты и т. д.

² Выражаю признательность В. С. Гурфинкелю и Л. В. Чхаидзе за сделанные мне персональные сообщения.

основу упомянутой выше разбивки сенсорного и координационного процессов на пороги во малые интервалы Δt , разделяющие промежутками частичной рефрактерности моменты обостренной восприимчивости, которая удерживает мгновенное впечатление I_w в виде «свежего следа» до следующего такого же взлета возбудимости.

Распространенность альфа-волн по всей мозговой коре с особым преобладанием в рецепторных зонах и их синхронность по всему этому протяжению могут как будто также говорить в пользу сделанного предположения. Тогда мы могли бы рассматривать альфа-ритм как механизм, задающий координационным процессам их временной определяющий параметр, своего рода Sw времени, а интервалы Δt — как отсчеты внутреннего, физиологического маятника, являющегося для этих процессов тем, что британские физиологи называют *pace-maker*. Нельзя не подчеркнуть, конечно, что вне всякой зависимости с тем, связан ли этот *pace-maker* с альфа-ритмом или нет, физиологическое значение его как важнейшего регуляционного фактора и неотложная необходимость его метрического изучения и определения его связей с такими психофизиологическими показателями, как время простой реакции, личное уравнение и т. п., неоспоримы.

Мне остается остановиться вкратце еще на одной важной черте координационного процесса, самым тесным образом связанной с феноменом «свежих следов» и параметром Δt .

В процессах управления движениями встречаются ситуации, при которых большую, иногда решающую важность имеют коррекции предвосхищающего, антиципирующего характера, становящиеся особенно заметными в тех случаях, когда на протяжении какого-то отрезка движения коррекции следящего типа становятся вообще невозможными. Существует целый класс таких двигательных актов (так называемые баллистические движения), осуществление которых только и возможно посредством подобной антиципации: метание с паданием в цель (бросание камня, копья, всевозможные игры

с мячом и т. д.), перепрыгивание через ров или высотное препятствие, размашной удар тяжелым молотом и т. д.

Нельзя не заметить аналогичных антиципации и в ряде таких двигательных актов, где они необходимо соучаствуют с коррекциями обычного следящего типа. Это возможные *движения с упреждением*, подобные тем, которые производят гончие, преследуя зверя, делающего «угонки», и устремляясь не к видимому мгновенному положению жертвы, а наперерез к превосходящей или экстраполируемой точке пересечения траекторий их бега. Таковы же бесчисленные случаи схватывания рукой движущегося предмета, «пятнания» мячом убегающего партнера, подстановки ракетки под подлетающий мяч или шарик пинг-понга и многие другие. Mittelsaedt (1954) прямо предлагает различивать оба типа коррекций, рассматривая их как два равноценных по значению класса, обозначаемые им как *Regelung* и *Steuerung*. В настоящем контексте более важно другое.

Существование и встречаемость — гораздо более частая, чем кажется с первого взгляда, — коррекций предварающего типа заставляет обратить внимание на то многостороннее значение, какое имеют антиципации для реализации какого бы то ни было целенаправленного двигательного акта. Уже само его программирование, определяемое, как было показано выше, осмыслением возникшей двигательной задачи, представляет собой предвосхищение как требующегося результата ее решения, так и тех двигательных средств, которые понадобятся для этого (последнее хотя бы в самых общих чертах).

На подобном же «заглядывании в будущее» целиком базируется и огромный класс психофизиологических процессов, носящих название *установки*, лишь к последнему времени достигшей признания всей ее значимости. Так же как при анализе отправлений задающего комплекса 2 мы обнаружили в нем иерархические ранги (уровни построения), начиная от организующих программу двигательного акта в ее целом и до уровня, уточняющего «микро-IV» от мгновения к

мгновению или от At к At , так и сейчас мы не можем пройти мимо факта, что, в сущности, для того, чтобы обеспечивать выполнение микропрограммных элементов и вести за собой управляемый двигательный процесс, последование задаваемых Sw должно все время *идти впереди фактического движения*, опережая его хотя бы на пороговые малые отрезки времени At , но уже достаточные для того, чтобы нарушенное этим равновесие (между достигнутым Iw и влекущим дальше Sw) обеспечивало динамику устремления к конечному результату. Таким образом, говоря полужигурально, текущая микрорегуляция движения развертывается все время между настоящим моментом / и границами интервала от $t - At$ («свежие следы») *not* + At (опережение Sw).

Очерк девятый

Управление, кодирование и моделирование в физиологии¹

История естествознания и техники богата примерами того, как изменения, наступавшие в состоянии производительных сил и производственных отношений, приводили к изменению основных точек зрения, отправных пунктов, которыми начинала направляться исследовательская мысль и изобретательская работа. Ярким примером такого сдвига исходных научных и технических позиций может послужить переворот, ознаменованный вступлением в строй в конце ХУП в. паровой машины и характеризовавшийся в физике и технике расцветом энергетики, бурно развивавшейся на протяжении всего XIX в., а в физиологии — заменой механистического направления, господствовавшего в XVIII в. (развитие декартовых идей о рефлексе, биомеханика *Кореша*, разработка Механики кровообращения *Кене*, «человек-машина» *Ламетри* и Др.), концентрацией внимания на *биоэнергетике*: на изучении обмена веществ, развитии биологической химии, работах по теории пищеварения, дыхания, вегетативных функций внутренних органов и т. д. Такая смена отправных пунктов вела к перегруппировке взаимоотношений между отдельными научными дисциплинами и к появлению новых, не предвидевшихся дотоле сближений между ними, как показывает приведенный уже пример сращения химии и биологии в новую науку — биохимию, немислимую для предшествовавшего столетия.

Весь XIX век прошел под знаменем энергетики, находившей в технике все новые и новые ресурсы в виде тепловых

двигателей и электроэнергии, сделавшей доступными бесчисленные даровые природные источники «белого», «голубого» и всяких других символических расцветок «угля». В физиологии этот период, о главных объектах изучения которого было уже упомянуто, характеризовался двумя очень отчетливо выраженными отправными пунктами, или принципами, явно подсказывающимися самими методиками исследования и уровнем знаний о физиологических процессах: 1) изучением организма в покое, 2) аналитическим исследованием отдельных элементарных, искусственно изолированных функций.

Первая черта проявилась в выборе тех состояний, в каких преимущественно изучался организм. По линии химизма исследовался обмен покоя («основной метаболизм»), тщательно изучались процессы дыхания, кровообращения, работа сердца, почек и других органов также в состояниях покоя, без рабочих нагрузок организма. Например, для изучения нервной и нервно-мышечной физиологии животное обезглавливали или дещеребрировали перерезкой ствола мозга, или по меньшей мере наркотизировали.

Второй отличительный признак стиля физиологических работ XIX в. — аналитическое вычленение и изолированное изучение элементарных функций нерва, мышцы, внутреннего органа, рецептора — казался вполне естественным методическим приемом для первоначального исследования («синтез придет по окончании анализа»), но в действительности неосознаваемо опирался на атомизм, органически присущий механистическому образу мышления материалистов XIX в. Твердо подразумевалось, что целое есть всегда сумма своих частей и ничего более, что любую сложную функцию всегда возможно реконструировать как сумму определенных микрофункций, последовательных или одновременных. Каждое чувственное восприятие — это сумма элементарных ощущений, а каждая целостная целесообразная реакция животного организма — такая же сумма элементарных рефлексов. Такой подход определял все направления

¹ Очерк был помещен в качестве предисловия в книге: *Моисеев В. Д.* Вопросы кибернетики в биологии и медицине. — М.: Медгиз, 1960.

психофизиологии — центрировал исследовательскую работу на изучении свойств нервно-мышечного препарата или же изолированных, полупассивных ответов покоящегося подопытного животного на задаваемые ему изолированные же раздражения.

Текущий век характеризуется все яснее осознаваемым и формулируемым новым сдвигом отправных позиций и центров интереса, и опять-таки этот сдвиг кладет свой решающий отпечаток и на технику, и на естествознание (в частности, на биологию и физиологию) и приводит к перегруппировкам и сближениям между собой наук, в отношении которых эта возможность часто и не помышлялась раньше. На этом сдвиге следует остановиться более подробно.

(—ГТо., уере' прогрессировавшего роста производственных мощностей все более усложнялась и требовала все большего внимания задача *управления* этими громадными мощностями. С одной стороны, человеческой мышечной силы зачастую становилось уже недостаточно для такого управления. Ее заменяли либо пассивными искусственными направляющими (например, рельсы для управления направлением хода поезда), либо особыми машинами, получившими в наше время наименование сервомоторов, которым перепоручались, например, повороты гигантских многотонных рулей океанских судов. С другой же стороны, становилось в принципе все более ясным, что выработка механической энергии и целесообразное управление ею — это две совершенно раздельные задачи, которые в сложных машинах требуют не только раздельных, специализированных устройств, но нередко и независимых источников энергии для каждой из этих функций, например электрическое или пневматическое управление работой паровой машины и т. п.

«Всадник» — управление — оказался и более сложной, и более важной проблемой, нежели «конь» — источник рабочей энергии. Необходимость разобраться в этой проблеме еще сильнее подкреплялась нараставшей потребностью в *самоуправляющихся* (автоматических) устройствах и машинах и

увеличением числа изобретенных и удовлетворительно действовавших автоматов. Одни из них обеспечивали устойчивое поддержание какого-то определенного, необходимого режима работы машины, другие, более сложные, могли без вмешательства человека осуществлять смены режимов по той или другой *программе*, включать и выключать последовательно разные механизмы и орудия и т. д.

Перед наукой об управлении встала *проблема регуляции*. Как устроены и как должны быть устроены автоматы, регулирующие и поддерживающие устойчивый или программно-изменяемый ход работы машины? И здесь обнаружилось, что, во-первых, каждое устройство подобного рода должно иметь какой-то *воспринимающий элемент*, способный добавить сигнал неблагополучия, отклонения режима от требуемого уровня (например, в простейшем из автоматов — термостате — термометр, сигнализирующий о начавшемся отклонении температуры), и, во-вторых, передачу с этого элемента к управляющему *регулятору*, заставляющую этот регулятор изменять ход или мощность машины (в нашем примере — силу нагрева термостата) как раз в требуемом для выравнивания направлении.

Уже на этом уровне развития технической теории автоматики не могло не броситься в глаза разительное функциональное сходство с жизнедеятельностью организмов как в отправлениях отдельных элементов автоматной схемы, так и в самом ее построении. Воспринимающий элемент — это точный аналог органа чувств. К тому же стремительное развитие электротехники все более обогащало список датчиков, вырабатывая подобия органов осязания, зрения (фотоэлементы), слуха (микрофоны) и др. Сигнализация с датчика к регулятору аналогична нервному сигналу по афферентному нерву, реакция же регулятора воспроизводит чисто физиологическое явление рефлекса.

Неожиданное сближение физиологии с техникой на почве вновь возникшей проблематики управления и регуляции оказалось плодотворным и для физиологии, так как техниче-

ские аналогии помогли ей по-новому осветить ряд процессов внутренней регуляции. В каждом физиологическом отклонении, требующем стабильного поддержания той или иной величины или уровня (например, артериального давления, содержания в крови сахара или двуокси углерода и т. п.), обнаруживался датчик-рецептор (например, каротидный синус и т. п.), нервная передача в центр и эффекторный сигнал отсюда на периферию, обеспечивающий выравнивание начавшегося и просигнализованного отклонения. Общий с регуляторами-автоматами принцип заключается в том, что то или иное действие исполнительного органа, например сокращение мышц артериальной стенки по импульсу из центра, не является концом процесса: результат совершившегося действия немедленно воспринимается датчиком-рецептором и сообщается им по обратной связи в центр. Если исполнительный орган сработал в смысле регуляции неправильно, недостаточно или же чрезмерно, то сигнал с рецептора по обратной связи немедленно побудит центр соответственно усилить или умерить свою импульсацию, послать корректирующие импульсы и т. д., пока, наконец, сообщения с периферии от рецептора не засвидетельствуют полного выравнивания нарушения. С новым нарушением процесс выравнивания возобновится.

В физиологии все ярче обнаруживается большая универсальность такой кольцевой схемы регуляции с помощью обратной связи. В ряде функций, где для менее углубленного взгляда прежних физиологов реакция организма исчерпывалась, казалось, однократным рефлексом, обрванным на конце незамкнутой рефлекторной дуги, новый, более точный и пристальный подход выявляет непрерывающийся (по крайней мере, на протяжении того или иного промежутка времени) *кольцевой процесс* управления, в котором каждый очередной элемент *действия* (мышечного сокращения, секреции и т. п.) немедленно *контролируется рецептором*, выверяется и корректируется из центра новым элементом действия и т. д.

Раз начавшиеся сближение и взаимопомощь биологии и техники не ограничивались одними только механизмами регуляции. Аналогии, способные помочь как физиологической теории, так и технической практике, стали выявляться и в ряде других направлений.

Каждый сигнал с датчика-рецептора, для того чтобы произвести требуемое целенаправленное действие, должен обладать определенным смыслом. *Смысловая информация* — говорят, нести в себе какую-то *информацию*. В редких случаях эта информация осуществляется в наиболее привычной нам словесной форме (например, передача команды по телефону). Гораздо же чаще, а в автоматике вообще всегда она оформляется в виде определенного условного шифра или *кода*, например в форме того или иного следования импульсов одного вида в известном ритме (реже — чаще, в одиночку или группами и пр.) или двух стандартных видов (например, точки и тире в азбуке Морзе) и др. Если в автомат, например в управляемый издали самолет, лодку и т. п., вмонтированы рецептор сигналов и дешифратор кодов, то такой автомат сможет выполнять дифференцированно и безошибочно большое число закодированных команд.

Но теперь привлекает внимание следующая аналогия с физиологическими процессами. Ведь по чувствительным нервным проводникам с периферии тела в головной мозг не передаются непосредственно прямым образом тепло или холод от кожных рецепторов температурной чувствительности, свет — от палочек и колбочек сетчатки по зрительным нервам и т. п. Нервные импульсации в афферентных волокнах, легко регистрируемые с помощью современной техники, не содержат в себе *квантов* *информации* ни на свет, ни на теплоту, ни на механическую силу натяжения (действующего на proprioreцепторы), а лишь определенные последовательности пиков биоэлектрических потенциалов действия, насколько мы можем судить при сегодняшнем уровне экспериментальной техники. К тому же вследствие взрывного характера электрохимических процессов, лежащих в основе этих

пиков, и обусловливаемого им закона «все или ничего» все пики цепочки импульсов одиночного нервного волокна равны по величине, так что разнообразиться и отличаться между собой такие цепочки импульсов могут только по частоте и ритму. Между тем ясно, что именно эти цепочки импульсов обеспечивают восприятие всех качеств окружающего мира — и света, и цветов, и звуковых тонов, и всего богатства кожных, обонятельных, вкусовых, кинестетических ощущений. Очевидно, что эта богатейшая чувственная информация о внешнем мире сообщается нашему мозгу закодированной в виде импульсных цепочек. Каким образом мозг ее расшифровывает (декодирует), есть ли специфическое различие нервных сигналов от зрительного, слухового, осязательных и других рецепторов и в чем оно состоит — это задачи, которые еще предстоит разрешить физиологии завтрашнего дня.

Так или иначе определялась еще одна важная точка аналогий и сближений между биологией и техникой: проблема передачи информации и информационных кодов. Понятие кода в биологии приходится трактовать и применять очень широко. Помимо нервных импульсов, команды, создаваемые, например, химическими стимуляторами и тормозными веществами (медиаторами), тоже несут с собой информацию и тоже в своеобразно закодированном виде.

То же приходится сказать о важнейших, высокодифференцированных регуляторах организма — продуктах желез внутренней секреции. Ядерные хромосомы, химическая структура которых начинает постепенно уясняться в наше время, принимают участие какими-то еще крайне загадочными путями в развитии из одной оплодотворенной яйцевой клетки организма, обладающего сложнейшим агрегатом органов и тканей, подобного организмам предков. По-видимому, в химической структуре тех гигантских белковых печеночных молекул, из которых построены хромосомы, закодирована информация, необходимая и достаточная для построения всех органов тела с их тончайшими гистологическими строениями и целесообразной взаимосвязью.

Наконец, разве сама наша речь, наш основной способ взаимного обмена информацией, не представляет собой высокоразвитой системы условных кодов в форме звуков разной высоты и тембра в случае устной, и комбинацией из тридцати или сорока фигурок — знаков (букв, цифр и др.) в случае письменной и печатной речи?

Чтобы покончить с просмотром хотя бы главнейших из ныне вскрывающихся соответствий и аналогий, отметим, что и принцип релейных связей и сервомеханизмов, находящий все более широкое применение в современной технике управления и связи, точно так же оказался играющим важную роль в физиологических отправлениях организма. Когда рулевой океанского судна одной рукой вращает небольшое штурмовое колесо, мощная паровая или электрическая сервомашинка послушно повторяет все его действия, поворачивая тяжелый руль, отстоящий к тому же на пару сотен метров от штурманской рубки. Но когда импульсация с переднероговой клетки спинного мозга, передаваемая в мышцу по двигательному нерву и по своей мощности измеряемая долями микроватта, вызывает тетаническое сокращение мышцы, реализующее ее внутреннюю рабочую мощность в десятки ватт, то вся картина такой же точно релейной передачи оказывается налицо и здесь.

Для физиологов и медиков не столь важно, какую пользу извлекают для себя из всех подобных параллелей инженеры, утверждающие, однако, что углубленное ознакомление с физиологией очень обогащает их изобретательскую мысль. Но для биологов из таких аналогий и сопоставлений простекает по крайней мере двоякая польза.

Во-первых, все они открывают пути к построению *математической теории* и формулировки явлений, что всегда прогрессивно и что предвещало будущей физиологии корифеи отечественной науки. Такие математически разработанные теории обратной связи, функции передачи, кольцевых процессов и т. д. уже созданы и способствуют переводу биологической дисциплины на рельсы точной науки. Во-вто-

рых, каждая подобная нащупанная аналогия представляет собой путь к созданию проверочной исследовательской модели, к так называемому *моделированию* физиологических процессов. О разностороннем значении моделирования как для физиологической теории, так и для медицинской практики мы скажем еще несколько слов ниже.

Усложнение и рост мощностей машин, управляемых человеком, явились на рассматриваемом этапе причиной (малозаметной, но бесспорной) глубоких сдвигов, совершающихся в отправных пунктах и центрах преобладающего интереса науки о жизнедеятельности человека. Значение изолированного ручного труда стало падать. Все более выдвигалась на первый план роль человека как основного звена в сложном производственном процессе, в управлении сложнейшими машинами, атаке же в использовании самоуправляющихся устройств.

Резко изменились и подходы к изучению физиологических процессов по сравнению с уже охарактеризованными позициями прошлого века. Прежде всего вместо организма в покое выдвинулся в качестве более важного объекта организм в работе. Возникли физиология труда, психотехника, педагогика труда и т. д. Естественно, что физиология труда начала с изучения процессов грубой физической работы, а методически не могла сразу сойти с прежних, «классических» позиций энергетического изучения труда: газообмена при физической работе, кислородного долга, химического баланса крови, восстановительных процессов и т. д. Но потребности жизни не позволили ей длительно задержаться на этом этапе и властно звали ее к включению в новую *проблему управления и связи*.

Вторая черта, с неменьшей неизбежностью начавшая проявляться в новой физиологии, — это изучение целостности деятельности человека. Стало очевидным, что если по отношению к отправлению покоя можно еще, на худой конец, удовлетворяться изучением их по частям, дробя организм на отдельные частные функции и не покидая позиций атомиз-

ма, то во всех активных проявлениях жизнедеятельности организм выступает как настолько неделимое целое, что искусственное дробление становится просто невозможным. Действительно, в координированных, целенаправленных двигательных актах на первый план неустранимо выступают регуляции движения по обрисовавшейся уже обратной связи, по афферентным сигналам как мышечно-суставных проприоцепторов, так и органов осязания, зрения, лабиринтов и т. д. Шейно-туловищные рефлексы тонуса и мускулатуры ног обеспечивают ручному рабочему процессу устойчивый или подвижный фундамент позы. Таким образом, львиная доля как мускулатуры, так и рецепторного оснащения неразрывно соучаствует в любом двигательном действии, если только это в самом деле смысловое действие, а не бесцельный двигательный обрывок.

Такая же неразрываемая связь афферентации и эффекторики, периферии и центра проявляется и во всякого рода активных процессах структурирования. На низших животных амфибиях — это было установлено экспериментально на явлениях регенерации. На высших млекопитающих опыт школ П. К. Анохина, Э. А. Асратяна, Bethe и др. показал значение, которое имеет для восстановления функций, их воспитания и перестройки вся совокупность афферентной информации, текущей с периферии организма к центру, и, следовательно, выявил и здесь наличие неразрывной целостной взаимосвязи центра и периферии.

Исследования школы А. Д. Сперанского обнаружили ту же картину неразрывной целостности и в патологических перестройках организма, открыв этим совершенно новые пути и перспективы для хирургии. Невозможно перечислить все направления, по которым стал разрабатываться *подход к организму как к неделимому целому, не пассивно взаимодействующему, а активно и целенаправленно воздействующему на окружающий мир*.

На этом этапе дает о себе знать разница мировоззрений и целей между западным, капиталистическим, и нашим, соп*

алистическим, миром. Точку зрения, отчетливо проявляющуюся во многих зарубежных публикациях на обсуждаемую тему, можно было бы изложить примерно так: человек есть пока еще (к сожалению!) неустрашимое звено в цепи рабочего процесса управления или связи. Изучать его в рабочих состояниях необходимо, во-первых, и прежде всего для того, чтобы заменить его аналогичным искусственным устройством (роботом) везде, где и как только возможно. Конечно, задача и идеал - вытеснить живого рабочего из производственного процесса вообще.

Во-вторых, поскольку покамест в этом процессе имеются такие звенья, которые могут быть замещены только человеком, постольку необходимо пристальное изучение его ресурсов и его недостатков в интересах рационализации рабочего процесса. Главные минусы человеческой машины: 1) медленность реакций и действий; 2) грубость порогов рецепторов и отсутствие органов чувств для ряда форм энергии (электричество, магнетизм, ультразвук и т. п.); 3) утомляемость; 4) возможность ошибочных действий. Необходимо, с одной стороны, организовать рабочий процесс так, чтобы четыре перечисленных минуса были в возможно большей степени обезврежены, а с другой стороны, точно определить диапазоны оптимумов человеческого организма и наилучшие условия для их использования: оптимальную освещенность, слышимость, рабочую позу и т. п.

Если вторая половина изложенной сейчас позиции — определение слабых сторон организма работающего человека и обеспечение для него оптимальных условий работы — вполне приемлема и для нас, то первая — систематическое вытеснение человека из производственного процесса с постановкой на его место робота — идеологически враждебна нашему мышлению и абсолютно непригодна для нас. У нас нет каких-либо возражений против автоматизации. Беспорно, прогрессирующая автоматизация производства имеет своей другой стороной возрастающую интеллектуализацию труда, освобождение человека от пут более грубой, до-

ступной машинам работы, открывающее ему дорогу к более тонкой и углубленной работе мышления. Но для нашей страны и для всех социалистических стран, строящих новый мир без эксплуатации, человек есть прежде всего хозяин производственного процесса, его создатель, и создатель именно с тем условием, чтобы этот процесс реализовал его сознательную волю и служил его потребностям.

В этих условиях полное вытеснение человека из рабочего процесса означало бы застой и омертвление последнего, ибо робот не умеет творить и изобретать.

Наша отечественная физиология и медицина обязаны подхватить все то новое и прогрессивное, что появилось в развитии зарубежной науки наших дней и в чем мы в ряде отношений пока ощутили технические отставания от Запада. Но необходимо наполнить это новое иным целевым содержанием и использовать поражающие новые технические возможности медицины (в частности, ортопедии и хирургии) в целях борьбы за оздоровление, раскрепощение и обогащение всеми доступными возможностями человека во всей совокупности его деятельности по подчинению себе природы.

Теперь следует сказать несколько слов о другом аспекте сближения и взаимного переплетения между собой биологии и техники, аспекте, несомненно, обогащающем как ту, так и другую сторону. Мы имеем в виду *моделирование*.

Особый интерес к моделированию как необходимому практическому следствию аналогизирования между объектами биологии и техники отмечался в XVII—XVIII столетиях, в эпоху уже упоминавшегося расцвета теоретической механики и биологического механизма. История науки сохранила нам сведения о садовых статуях Франчини, помещенных в парке Фонтенбло и совершавших несколько различных шуточно-озорных действий: грозивших пальцем, когда гуляющие приближались к ним с одной стороны, и окатывавших их водой из шланга, когда они подходили с другой. Декарт признавался, что именно они навели его на общую идею рефлексов. Кенз демонстрировал гидравлическую модель

кровообращения по Гарвею; Вокансон построил утку, которая глотала шарики «пищи», имитировала их разжижение и всасывание в желудке и даже извергала испражнения. К сожалению, многие сведения об автоматах этого рода из той эпохи безвозвратно утеряны: в пору свободного предпринимательства и отсутствия законов по ограждению авторских прав изобретатели слишком боялись конкуренции и похищения их изобретений и старательно засекречивали их.

Так или иначе из того, что нам известно, видно, что уже в XVIII в. моделирование жизненных процессов переросло первоначальные, часто развлекательные задачи (им поневоле отдал свою дань еще Леонардо да Винчи) и определило свою цель как чисто исследовательскую, как попытку познать и проверить в активном эксперименте свою трактовку тех или иных физиологических процессов.

В XIX в. интерес к моделированию временно заглох. После Великой французской революции стало уже некого забавлять игрушками, а выдвинувшиеся на первый план проблемы биоэнергетики были связаны с изучением явлений, которые при тогдашнем уровне техники не так-то легко было моделировать. На переживаемом нами ныне этапе развития науки о жизни и жизнедеятельности моделирование возродилось вновь и, будучи подкреплено всеми могучими ресурсами технической химии и электроники, разрослось в настолько широкую область, что уже появилась необходимость в классификационном расчленении и анализе ее в зависимости от многообразных целей и задач. Остановимся кратко на обзоре выявившихся к настоящему моменту главных классов технико-биологических моделей.

Первый и, может быть, наиболее интересный для физиологов и клиницистов класс моделей можно было бы обозначить как *эвристический*, характеризующий чисто исследовательскими задачами. Именно к этому классу относятся механические модели XVII в., хотя их создатели и не достигли еще точного формулирования принципов, определяющих исследовательское значение их конструкций.

Одно из самых ранних, если вообще не первое, определение того принципа, который в наше время кладется уже вполне сознательно в основу моделей этого рода, мы находим у гениального И. М. Сеченова в его раннем произведении «Рефлексы головного мозга» (1862). Он писал: «Мысль о машинности мозга при каких бы то ни было условиях для всякого натуралиста клад. Он в свою жизнь видел столько разнообразных причудливых машин, начиная от простого винта до тех сложных организмов, которые все более и более заменяют собой человека в деле физического труда; он столько вдумывался в эти механизмы, что если поставить перед таким натуралистом новую для него машину, закрыть от его глаз ее внутренность и показать лишь начало и конец ее деятельности, то он составит приблизительно верное понятие и об устройстве этой машины, и об ее действии»¹. В таком именно положении находится физиолог по отношению к организму, в частности к головному мозгу.

Пользуясь полубразными терминами, встречаемыми в современной англо-американской литературе и постепенно приживающимися и у нас, можно сказать, что «закрытая от глаз внутренность машины» мозг заключена в непроницаемый «черный ящик» (black box), в отношении которого нам доступны только: все то, что поступает в этот «черный ящик» через его входы (inputs), и вся совокупность его активности, проявляющей из его глубин на выходы (outputs)¹.

Но если по отношению к «самой причудливой машине в мире» (И. М. Сеченов) - мозгу - никакой инженерной опытности не может быть достаточно, чтобы чисто мыслительным путем постигнуть из сопоставления «входных» и «выходных» процессов его внутренние, скрытые от нас механизмы, то можно и перспективно пойти другим путем. Мы задаемся *рабочей гипотезой* об устройстве того внутреннего меха-

¹ Сеченов И. М. Рефлексы головного мозга. — СПб, 1866. — С. 11—12.

² Единственные данные, какие мы можем на сегодня получать изнутри «черного ящика» (мозга), — регистрируемые через черепные стенки электроэнцефалографические потенциалы еще совершенно не поддаются смысловой расшифровке.

низма, который¹ по² нам³ У представлению, обуславливает наблюдаемые г⁴ явления «выхода» в связи с данными воздействиями на «⁵ды» — Мы воплощаем эту рабочую гипотезу в *веществе* Ф⁶у⁷дель и наблюдаем, как она будет функционировать.

Если функ⁸и⁹ по¹⁰на¹¹ли¹² соотношения «входных» и «выходных» явлен¹³н¹⁴ модели не смогли все произвести тех, какие регистрируются на¹⁵ж¹⁶и¹⁷м¹⁸ объекте, то гипотеза опровергнута, но мы все де¹⁹с²⁰ обогащены хотя бы отрицательным опытом. Если же модел²¹Р²²м²³и²⁴т²⁵и²⁶ р²⁷у²⁸т²⁹ жизненные явления и соотношения входно-вы³⁰с³¹о³²дных процессов верно, то это, правда, еще не подтвержда³³в³⁴ полностью правильности исходной гипотезы (не исключ³⁵ч³⁶т³⁷о³⁸ подобные же соотношения входа-выхода могли бы реализоваться каким-нибудь другим механизмом), но все ж³⁹с⁴⁰а⁴¹з⁴²а⁴³но повышает правдоподобность исходной гипотезы 4 открывает путь к тому, чтобы, постепенно и осторожно на⁴⁴д⁴⁵т⁴⁶р⁴⁷а⁴⁸н⁴⁹а⁵⁰я⁵¹я⁵² усложняя экспериментальную модель и набл⁵³д⁵⁴а⁵⁵т⁵⁶е⁵⁷ отпра⁵⁸в⁵⁹л⁶⁰ениями и реакциями, добиваться понем⁶¹н⁶²у⁶³ расширения и уточнения круга выполняемых ею функций- Либо исходная гипотеза будет опровергнута на каком-то⁶⁴эта⁶⁵пе работы с моделью, либо вероятность того, что данной внутренней механизм «черного ящика» разгадан, будет⁶⁶с⁶⁷е⁶⁸р⁶⁹с⁷⁰ма⁷¹ возрастать и укрепляться.

Вот, в сущ⁷²н⁷³с⁷⁴т⁷⁵и⁷⁶ весь тот краткий методический кодекс, который опред⁷⁷л⁷⁸я⁷⁹ет назначение экспериментального моделирования⁸⁰ правильное обращение с последним. Главная опасность⁸¹ис⁸²с⁸³л⁸⁴е⁸⁵д⁸⁶о⁸⁷в⁸⁸а⁸⁹т⁹⁰ельско⁹¹м⁹² пути — это увлечение внешней до⁹³д⁹⁴р⁹⁵е⁹⁶ впечатляющей эффективностью поверхностного сходства всех этих многочисленных электрочерепах и ма⁹⁷л⁹⁸и⁹⁹н¹⁰⁰т¹⁰¹ом¹⁰²ш¹⁰³с¹⁰⁴й¹⁰⁵ > демонстрируемых и описываемых в популярн¹⁰⁶р¹⁰⁷а¹⁰⁸у¹⁰⁹р¹¹⁰а на Западе, часто с намеренным засекречивани¹¹¹ем рабочей схемы. Отсюда лишь один шаг к воскрешению развлекательных автоматов XVII—XVIII вв., шаг, очень м¹¹²ало¹¹³о¹¹⁴ под¹¹⁵о¹¹⁶т¹¹⁷о¹¹⁸в¹¹⁹е¹²⁰ р¹²¹м¹²²а¹²³л¹²⁴л¹²⁵а прогресса подлинной физиологической¹²⁶у¹²⁷т¹²⁸м¹²⁹.

Упомянув здесь о том, что не внешняя эффектная наглядность является тем главным, чего должно добиваться истинное эвристическое моделирование, скажем попутно, что в¹³⁰д¹³¹л¹³²е¹³³е¹³⁴ время определился один характерный подкласс эвристических моделей, иногда вовсе не воплощаемых в материальный механизм. Если рабочей гипотезой является, например, дифференциальное уравнение или система таковых, предназначенных для характеристики количественной стороны того или другого биологического явления, то построение и проверочные решения таких уравнений тоже представляют собой своеобразное моделирование, хотя математическая «модель» явления или процесса до самого конца остается только на бумаге. Часто непреодолимые в прежние времена трудности решения тяжелых и многочисленных задач подобного рода сейчас преодолены созданием автоматических вычислительных машин как непрерывного, так и цифрового типов. Ряд задач, например по теории пульсовой волны, структуре и значению элементов электрокардиограммы, пневмодинамике дыхательного процесса и др., успешно «моделируется», изучается и проверяется при посредстве этих машин без обращения к услугам токаря и электротехника.

Теперь следует сказать несколько слов о группе *моделей* уже не исследовательского, а чисто *практического назначения*. Эта группа распадается на два больших класса, имеющих большой практический интерес и значение для медицины (ценности и значимости моделей этих классов для инженерно-технических задач мы здесь касаться не будем).

В *первый* из этих двух классов входит вся *практическая автоматика*, в которой моделирующее воспроизведение тех или других функций живого организма имеет непосредственной задачей временную или длительную *замену* организма или его части искусственным устройством. В области чистой производственной техники сюда относятся все автоматы, целиком замещающие человека в каком-либо звене рабочего процесса. Их история начинается еще с прошлого века, когда были придуманы автоматы, действующие по

типу реакции, простой или с выбором: автоматы для продажи марок, билетов, шоколада, для размена металлических денег, автоматы, реагирующие на начало пожара сигналом или включением заливательного устройства, и др.

Бурные темпы изобретения новых видов датчиков и развития усилительной техники привели к широкому разрастанию списка автоматов по сортировке и браковке (с «органами чувств» самого разнообразного рода), выполнению сложного производственного процесса («поточные линии»), управлению работой станков, контролю на расстоянии и т. п. — автоматики, интенсивно внедряемой сейчас в многочисленные отрасли отечественной промышленности. Ценность всех автоматов описываемого класса как раз в преодолении ими тех «узких мест» человеческого организма, которые перечислялись выше: в доступной автоматам высокой чувствительности рецепторов, скорости, неумляемости из-за страхованности от ошибочных реакций.

В медицинской области список автоматов и полуавтоматов рассматриваемого класса растет и пополняется с каждым днем (именно здесь нашей медицинской промышленности надлежит приложить все усилия к дальнейшему быстрому развитию и усовершенствованию производства автоматов и полуавтоматов). Сюда относятся, во-первых, протезы всех видов: ушные протезы, возмещающие утраченный слух обходным путем, например через вибрационную кожно-костную чувствительность, энергично разрабатываемые «читающие машины» для частичного возмещения зрения слепым, наконец, активные, очувствленные датчиками и моторизованные протезы, возмещающие функции ампутированных конечностей. Нельзя не отметить обгоняющих США передовых достижений по ручным протезам рабочей группы Московского института протезирования, руководимой А. Е. Кобринским и В. С. Гурфинкелем. Во-вторых, сюда же входят все более сложные, совершенные и удивительные агрегаты для временной замены функциональных систем организма, выключаемых, например, для производства опе-

432

раций (заменители сердца и малого круга кровообращения для сложных операций в грудной полости и т. п.), или же временно выбывших из строя вследствие болезненного процесса (таковы приборы и камеры для обеспечения дыхания при острых стадиях полиомиелита и др.). Не приходится и подчеркивать, что современный уровень техники обещает здесь огромные возможности по еще почти не поднятой «целине».

Второй класс автоматов практического назначения — это те самые автоматы, которые часто образно именуют «электронным мозгом». Это автоматические вычислительные или счетно-решающие машины, проделавшие за какие-нибудь 15—20 лет поистине гигантский путь развития. Их создание — результат движения навстречу друг другу *математических дисциплин* — теория приближенных вычислений и теории алгоритмов¹ — и *электронной техники*, развившейся главным образом на практических задачах техники связи. Включение в число алгоритмов, доступных таким машинам, также формул математической логики и «теории высказываний» сделало доступными для них и задачи логического порядка, превратив их по ряду отношений в так называемые автоматы — заменители мыслящего Мозга. Решающую роль для расширения диапазона возможностей описываемых машин сыграло изобретение ряда устройств, выполняющих функции памяти, как долговременной, хранящей запечатленную информацию в течение неопределенно долгого времени, так и оперативной, подобной по своим функциям удержанию цифр и чисел «в уме» по ходу какого-нибудь вычисления. О двух поражающих количествами характеристиках электронно-вычислительных машин (их гигантском «объеме внимания», позволяющем им решать системы из

неодолимого для человеческого ума количества уравнений, и их сказочной скорости работы, измеряемой миллионами элементарных операций в секунду) уже много раз сообщалось и в научной, и в общей печати.

¹ Алгоритмом в математике называют любое правило или совокупность правил, лающих рецепт хода или способа решения вычислительной задачи.

«Электронный мозг» есть один из представителей обширной совокупности изобретенных человечеством *орудий, усиливающих его непосредственные возможности*. Подзорная труба, телескоп, телевизор усиливают во много раз непосредственные возможности органа зрения. Мотоцикл, автомобиль, локомотив — подобные же усилители для скорости передвижения и тяговой силы. Автоматическая вычислительная машина продлевает точно такой же по смыслу комплекс вычислений, сравнений или логических операций, какой ценою долговременных и напряженных усилий мозга человек мог бы выполнить и сам, но выполняет его и безмерно быстрее, и безошибочнее, и с полной неумолимостью. Кроме того, практически неограниченный объем «памяти» и «внимания» позволяет поручать ей и такие вычислительные задачи, которые по своей громоздкости вообще далеко превышают возможности мозга человека, как легко везомый тепловозом груз в несколько тысяч тонн превышает то, что человек смог бы за всю свою жизнь перевезти на тачке.

Области применения электронно-счетных машин, несомненно, еще далеко не исчерпаны. Собственно говоря, эти машины применимы для решения всех тех задач, которые могут быть запрограммированы в символах элементарной математики и математической логики и для которых может быть дан общий алгоритм. Глубокие исследования советских математиков на протяжении последних лет смогли показать существование *а* математике неалгоритмируемых, т. е. тем самым недоступных сегодняшним аналитическим машинам, задач и, следовательно, определить реальные границы возможности для машин этого рода. Границы эти, во всяком случае, оказываются чрезвычайно широкими и неестественными для очень разносторонней практики.

Здесь необходимо сделать сразу же два очень существенных разъяснения.

1. За последние несколько лет как в нашей стране, так и за рубежом появился ряд работ, задающихся целью выяснить в принципиальном, методологическом плане, какое место по

отношению к живому, мыслящему мозгу могут занимать существующие на сегодня аналитические машины и на какое место они могут претендовать в будущем. Этот отнюдь не простой вопрос еще резко осложнен, к сожалению, тем духом деляческого рекламизма, каким проникнуты многие из зарубежных публикаций. Если отнестись к ним с простой доверчивостью, то получится, что уже существуют машины, способные перешагнуть любого гения.

В некоторых публикациях сообщается, что уже созданы машины, способные автоматически сочинять литературно-художественные произведения на любую заданную тему, притом с той молниеносной скоростью, какая характеризует электронно-счетные машины. В ряде сообщений говорится о существовании и даже якобы о публичной демонстрации машин-композиторов, сочиняющих музыку тоже на любую заданную тему. В любой день можно ждать информации о машинах, создающих шедевры живописи и скульптуры, перед которыми потускнеют творения Рафаэля и Кановы. Цель таких беззастенчивых реклам совершенно ясна: это пропаганда доводимой до крайних пределов идеологии полного вытеснения человека из всех отраслей деятельности — сегодня на производстве, а завтра и т^х областях научного и художественного творчества.

Что можно вывести из того, что известно о структуре, технике и способах работы электронно-вычислительных машин и из философско-критических высказываний в этой области?

Самое яркое и принципиально глубокое отличие таких машин от живого организма заключается отнюдь не в том, что первые содержат в своих схемах сотни или тысячи и электронных ламп и транзисторов, а второй — многие миллиарды функциональных элементов, нервных клеток и проводников. Главное различие (этого мнения как будто придерживаются все серьезные критики по данному вопросу) в том, что электронная машина *сооружается человеком* в определенных, осознанных им целях, человек же закладывает в нее ту

или другую программу, отвечающую его намерениям, в пределах которой машина и будет работать, проявляя все свои великоленные качества быстроты и точности. В живой организм и в его мозг никто извне не вкладывал никакой программы. Проблема того, как, какими путями и механизмами эволюционно конструировался и программировался живой мозг, как под влиянием труда и общественных отношений самопрограммировался мозг питекантропа, становясь мозгом современного человека, — это, может быть, самая центральная и глубокая из биосоциальных проблем. Но основным и неоспоримым остается факт, что весь процесс совершался в порядке активной жизнедеятельности и самоорганизации.

Отсюда вытекает трудно оспоримый вывод, что автоматическая вычислительная машина принципиально не может оказаться качественно и творчески умнее своего создателя *) программатора. Современные электронные машины обладают приспособлениями для осуществления самоорганизующихся процессов, т. е. могут находить в ряду возможных линий заложенной в них программы оптимальные или наиболее выгодным образом сокращенные пути решения внесенной в них задачи. Но в том-то и дело, что сами эти линии возможного улучшения и перестройки программ в их деталях должны быть предусмотрены автором машины и сознательно заложены в нее.

2. Вопрос в том, чем же в таком случае, помимо своей быстроты, может быть полезной электронная машина в роли орудия чисто мыслительных, логических процессов, осложняется еще одним серьезным опасением, высказывавшимся в отечественной литературе и на какой-то срок настораживавшим некоторых из наших мыслителей против кибернетики вообще. Это опасение сводится к тому, что как сама математическая логика и теория высказываний, так и работающие по их формулам электронно-аналитические машины! функционируют в рамках формальной логики и силлогистики.

Мы не будем здесь касаться неисключенной возможности того, что советская философская и изобретательская мысль сумеет вложить в будущие машины также и программы операций диалектической логики. Это дело будущего. Мы же остановимся на другом, что прямо вытекает из выказанного выше о реальных границах возможностей аналитических машин и об их отношении к творчеству. Пусть современным машинам и не по силам диалектика, как не по силам им полноценное творчество, но ведь мы и не собираемся возлагать на них ни того, ни другого. В каждом глубоком мыслительном процессе есть, и зачастую очень немалая, доля черновой работы суждений, сопоставлений и умозаключений, так же как во всяком вычислении из любой высшей области математики немало самых элементарных сложений, вычитаний и умножений чисел. Формальная логика не опровергается и не отменяется диалектикой, атолько отводится ей на свое место. Она играет в любом мыслительном процессе роль, вполне аналогичную роли таблицы умножения в вычислительной работе. И как бы возвышенно ни был настроен для работы мозг мыслителя-диалектика, его продукция сможет пойти насмарку, если этот мозг напугает в элементарных силлогизмах: $2 \times 2 = 4$ и *barbara-celarent*.

Раз автоматическая вычислительная машина не творец и не мыслитель, а орудие, то наша задача состоит в том, чтобы определить, насколько она полезна для нас именно в роли вспомогательного орудия: 1) насколько она в состоянии решать колоссально громоздкие задачи многочисленных систем уравнений или производить заключения и сопоставления не менее множества симптомов заболеваний; 2) насколько она в состоянии, раскрепостив и разгрузив мыслящий мозг человека (биолога, физиолога, врача) от необходимых, но стандартных, доступных запрограммированию частностей, открыть для него этим путем все возможности творческого мышления с захватом решаемого вопроса вглубь и с широкой возможностью увидеть целостный «лес» проблемы благодаря устранению заслонявших его «деревьев».

Очерк десятый

Модели как средство изучения нервно-двигательных процессов¹

Необычайный расцвет электротехники, в частности электроники с ее могучими возможностями безынерционного усиления, телеуправления, а в последнее время даже своего рода запоминающих устройств, привел к большому увлечению моделями органов и организмов, ставшему на Западе своего рода модой. Журнальная литература от наиболее солидных изданий вплоть до рекламно-бульварных то и дело сообщает о новых сенсациях в этом роде, иногда честно освещая принципы и схемы моделей, иногда многозначительно отмалчиваясь.

Совершенно своевременно поставить вопрос: может ли путь моделирования нервно-двигательных отправлений принести реальную научную, эвристическую пользу, и если да, то какие направления на этом пути правильны и какие следует считать ложными, бесполезными или даже способными завести в тупик?

В этом кратком разборе я не коснусь вопроса об автоматах, построенных с прямыми практическими целями для замены человека в том или ином производственном процессе. Здесь на первом плане целесообразность результата и ничего более. Речь пойдет о моделях чисто исследовательского назначения.

Идея модельного подражания отправлению живых существ с целью проникновения во внутренние механизмы последних отнюдь не нова. Если отнестись к классу исследовательских моделей, кроме вещественных, также так называемых

мысленные модели, ограничивающиеся проектированием более или менее выполнимых устройств на бумаге, то историю обсуждаемых моделей приходится начинать едва ли не с декартовой идеи о механическом действии нервных нитей на осуществление дуги рефлекса². Каждый очередной уровень, достигнутый техникой, привлекал к себе и соответственно настраивал мышление физиологов, часто совершенно непроизвольно моделировавших жизненные процессы по образцам и подобиям современных им инженерных достижений. Достаточно напомнить о таких мысленных моделях прошлого столетия, как резонаторная модель кортиева органа Гельмгольца или представление о нервах как кабелях из изолированных (миелином) электропроводников, о внутримозговых коммуникациях как подобии центральных телефонных станций, владевших умами многих нейрофизиологов — современников Белля и Эдисона. Разумеется, и в наши дни такая установка мышления (следовало бы назвать ее семероморфизмом³) в неменьшей степени влияет на умы, предоставляя к их услугам волновые процессы, полупроводники, мембраны, квантованные микропотенциалы, актомиозино-вые электроэластические цепочки и очень многое другое.

Если ни на минуту не упускать из виду, что каждая очередная удавшаяся модель является в лучшем случае лишь огрубленным приближением, этапом продвижения к еще очень отдаленной истине, то, бесспорно, эвристическая ценность моделей может быть значительной. Однако на этом пути легко возможны и серьезные упущения. Из накопившегося опыта можно сделать несколько руководящих выводов о том, как обращаться с экспериментальным моделированием и какие заключения из опытов с моделями можно считать методологически правильными.

¹ Летаящая модель голубя Архита Тарентского, модели имитации животных Леонардо да Винчи и т. п. не предназначались для разрешения физиологических задач.

² От *οἶφιτρον* — сегодня и *корфТ* — форма; оформление по образцу и по подобию сегодняшнего дня.

³ Настоящая небольшая статья была помещена в: Доклады АПН РСФСР. - 1958. - № 2. - С. 89.

Первый вывод, на достигнутом уровне техники уже совершенно несомненный, — это вывод о ничтожном научном значении моделей с *изолированным положительным результатом*. Если модель удачно воспроизводит тот или другой физиологический акт, то подобный успех делает ее практически перспективной для построения на ее основе тех или иных рабочих автоматов, но ни в коей мере не может быть доказательным в смысле тождества между механизмом модели и тем, который обуславливает смоделированный процесс мозга. Примеров, подтверждающих высказанное правило, множество, начиная с автоматов для перронных билетов, выполняющих свою однообразную функцию так же успешно, как и живые кассиры, но еще никем не заподозренных хотя бы в частном сооответствии их устройства с мозгом последних, и кончая самолето-снарядами с дистанционным управлением радиокодами, даже отдаленно не похожими по принципам устройства на познанные уже сегодня механизмы нейромоторных реакций.

Наоборот, моделирование физиологических актов становится сразу эвристически ценным и приводящим к неоспоримым выводам *в случаях неуспеха*, отрицательного исхода попытки воспроизвести тот или иной физиологический процесс. Если модель, сооруженная для имитации какого-либо живого отправления на принципе гипотетически приписываемого последнему внутреннего механизма, оказывается на деле несостоятельной, неспособной выполнять то, для чего она предназначалась, это уже точно доказывает, что гипотеза о внутреннем механизме данного отправления была ошибочной, по меньшей мере существенно неполной. Если, например, исходя из гипотезы о двигательном стереотипе с управлением изнутри, без кольцевой регулировки по обратной связи, построить модель-тележку, которая должна пробегать замкнутый путь определенной формы, составленный из прямых и закруглений, и пустить ее пробежаться в саду по траве или по булыжной мостовой, то вся ее несостоятельность обнаружится при первом же опыте, хотя, быть может,

она и была бы в состоянии благополучно замкнуть контур своего пути на паркете или гладком асфальте.

Аналогично в 3-м очерке я попытался показать математический, что стереотип определенной цепной последовательности титанических мышечных импульсаций не может обеспечить стереотипное же повторение одинаковых движений иннервируемой конечности. Здесь моделирование как вещественное, так и мысленное (математическое) приводит к вполне строгому отрицательному доказательству.

В связи со сказанным уместно остановиться здесь на разборе некоторых методологических ошибок, обнаруживающихся в моделях иностранных авторов (*технически* пока нас основательно опередивших).

Первая ошибка (если можно во всех случаях считать ее действительно непреднамеренной), встречающаяся в очень многих образцах моделей-тележек, заключается в увлечении чисто внешней подражательностью живым объектам, достигаемой при помощи технических средств, еще не ставших для широкой публики обыденными. Что удивительного, например, если игрушечный электровоз бежит по рельсам, механически направляющим его колеса? Но если вместо зримых и осязательных рельсов ходом и поворотами электровоза на гладком полу управляют комбинации из рефлекторов и фотоэлементов с усилительными реле, еще не столь прильзгавшиеся, как рельсовый путь, то он уже начинает походить своим поведением на некий организм с оптикомоторными реакциями, не доказывая и не вскрывая этим ничего полезного для науки о мозге и поведении. Сюда же, в эту группу, следует отнести модели-тележки, находящие дорогу в лабиринте опять-таки при содействии фотоэлементов, модели, реагирующие вместо световых сигналов на свистки, прикосновения, отраженный свет своих же фар и т. п.

Более тонкая форма ошибок выявляется в моделях, уже претендующих как будто на обнаружение или подтверждение существования тех или других предполагаемых рабочих механизмов мозга.

Однако можно показать, что если модели первой группы заволят в научно бесплодные тупики, то многие из тех, к которым я перехожу сейчас, попадают в положение порочного круга, или *petitio principii*, исходя, по сути дела, из той самой гипотезы, которую предназначается доказать.

К таким относятся, например, очень остроумная по замыслу модель Walter, настолько (сказать к слову) внешне похожая своим поведением на живую зверушку, что от нее, как от беса, спасались в свои комнаты верующие дамы¹. Предполагив (тоже не без семероморфизма) и убедительно аргументируя в пользу существования в рецепторных органах центральной нервной системы механизмов систематизированного просмотрового поиска или сканирования (*scanning*) своего зрительного или слухового диапазона, Walter делает попытку заставить этот гипотетический механизм быть ответственным за все локомоторное поведение организма и, следовательно, моделирующей его тележки. Вмонтированный в нее аппарат заставляет тележку катиться прямо, пока она освещается «в лоб»; прекращение же вызывавшегося этим фотоэффекта тотчас же включает мотор, заставляющий рулевую ось переднего колеса вращаться по часовой стрелке, совершая один за другим полные обороты. Это приводит к тому, что не раздражаемая спереди светом тележка описывает по полу циклоидоподобные петли, поворачиваясь поочередно во все стороны. Очевидно, что если в комнате имеется пучок света, то по истечении не более чем одного полного обращения тележки он попадет в поле зрения ее фотоэлемента и этим прекращает ее вальсирование. Рулевой моторчик выключается, тележка бежит прямо к источнику света с тем, чтобы, потеряв его почему-либо из вида, снова впасть в состояние вращения и этим путем вскоре вновь обрести нужный румб.

Ясно, что перед нами какая-то форма рецепторного регулирования: луч рефлектора задает требуемое направление

¹ Интересно, что ~~подобно~~ таким же образом один пастор в конце XVIII в. испугался «огненного земля» - опытной моделью² Гировоза, которую испытывал ночью на улице Тревитик.

движения, воспринимаемое рецептором, а рецепция отклонений включает некоторый коррекционный механизм, способный восстановить, хотя и обходным путем, оптимальное положение вещей. Все это так, но где найти хотя бы малейшее подтверждение тому, что этот, хотя и дееспособный коррекционный, механизм имеет что-либо общее с фактически заложенным в нейромоториуме мозга? *Petitio principii* Walter Состоит в том, что, угадав (верно или нет, но правдоподобно) существование в мозгу частного механизма сканирования, способного помогать ориентировочной реакции, он превращает этот механизм из частного в общий, заставляет его отвечать за весь процесс координации и, добившись некоторого имитационного сходства с живой натурой, не замечает, что не выявил этим не только ее координационных, но даже как раз наиболее вероятных ориентировочных механизмов.

Вторая модель, описанная тем же Walter под названием «*Conditioned Reflex Analogue*» (сокращенно CORA), поучительна еще в другом отношении. Задача состояла в том, чтобы заставить тележку, пускаемую в ход световым сигналом:

- а) начинать со ступенчатой возрастающей интенсивности реагировать на воздействие свиста, подкрепляемого светом;
- б) далее реагировать и также ступенчато угашать положительную реакцию при действии свиста без светового подкрепления. Налицо как будто в самом деле полнейшая аналогия с условным рефлексом. Но, если вникнуть в суть дела, нас сразу встречают два разочарования. Во-первых, модель заранее так спроектирована и устроена, чтобы именно свисток мог связываться в ней с реакцией свет - мотор за наперед установленное число ступеней - повторов. Что это был бы, например, за фонограф, если бы данный экземпляр его только и умел бы записать и воспроизводить «птичка божия не знает» и т. д. и ничего иного? Вместо приспосаблительного ассоциирования (а одно только это и значимо биологически в условном замыкании) налицо заранее заготовленная конструкция. Во-вторых, остроумная и сложная пятиламповая схема действительно обеспечивает ступенчатое возрастаю-

щую электросвязь микрофона с включателем мотора, но сейчас уже никто не скажет, что подобный примитивный механизм с накопительными реле имеет что-то общее с активной синтезализаторной деятельностью мозга, формирующего условное замыкание. Значит, модель при всей своей внешней эффектности не только не подвигает наших знаний о механизмах мозга вперед, но оказывается значительно отстающей от сегодняшнего их уровня.

Некоторый косвенный интерес представляет CORA совсем в другом отношении, а именно в направлении отрицательного доказательства.

Для светуправляемой черепахи Walter оказалось вполне достаточно двух радиоламп. Для имитации запечатления и угасания в модели CORA потребовалось добавить к ним еще пять ламп при очень сложной схеме. Этот факт уже доказательно говорит о том, что, правила неправ Walter в том, на какие именно элементы и стадии он расчленяет механизм памяти, но этот механизм заведомо нельзя более представлять себе как элементарное монофазное фотографирование. Он необходимо синтетичен, но как — это сможет показать только будущее.

Чтобы избежать повторений, не стоит касаться ряда других моделей, аналогичных описанным и повинных в основном в тех же ошибках. В нескольких словах следует упомянуть о гомеостате Эттли — он же *machina sopora* («соня») — машине, способной ценой работы очень большой и громоздкой схемы восстанавливать автоматически равновесное электрическое состояние своих приборов после любого экзотического выведения ее из такового, т. е. доказывающей возможность моделирования того самого, что находится в абсолютном противоречии с процессами бодрствующей жизни, вся сущность которой не только в динамике (физической и химической) устремления, но и в недостижимости равновесия. *In pace requiescat!*

Да почиет с миром! •

Существенно, однако, один принцип, позволяющий использовать для исследовательских целей модели с положительным результатом имитирования. Этот принцип, охватывающий значительно более широкий круг вопросов, нежели проблематика моделирования, был описан мной в 1935 г. под названием принципа «равной простоты», поскольку мне не удалось подыскать ему более удачное название. Напомню шес в кратких словах его суть.

Признававшаяся долгое время правильной идея, что из нескольких мыслимых объяснений механизма данного явления истинно наиболее простое, оказалась ошибочной, основанной на смешении понятий простоты и обобщающей силы. Если и казалось, что система Коперника или закон тяготения истиннее концепции Птолемея и аристотелевой механики потому именно, что они проще, то наше время накопило очень много примеров того, что более новые и близкие к истине концепции бывают значительно сложнее старых, ими вытесняемых. Механика Эйнштейна несравненно сложнее механики Ньютона. Теория и модель атома все время усложнялись на пути от Лоренца к Бору, а от последнего — К Шредингеру и Юкаве, хотя прогрессивность в обоих случаях вне сомнений. Но зато, видимо, справедливо другое. Одну какую-либо изолированную функцию в большинстве случаев могут с примерно равным успехом осуществить или объяснить несколько разных по принципам их устройства механизмов. Примеры этого мы видели на рассмотренных здесь моделях. Но если речь идет о целой распространенной серии (классе, континууме и т. п.) функций, то почти невероятно, а часто и вообще невозможно, чтобы два или более принципиально разных устройства могли реализовать подобную серию по всему ее диапазону с одинаковым распределением по степени легкости (или простоты, совершенства, точности, коэффициента полезного действия и т. д.) выполнения.

Примеров можно привести очень много. Круг определенного диаметра можно одинаково легко и точно начертить обведением круглого лекала, циркулем, эллипсографом. Одна-

ко циркулю с одинаковой простотой доступны все диаметры, тогда как лекало ограничено одним или небольшим дикретным рядом их. Эллипсографом одинаково просто начертить как круг, так и эллипс, циркулем же начертить эллипс хотя и возможно (навернув бумагу на цилиндр), но сложно. Диатоническую гамму одинаково просто исполнить на фортепиано, скрипке и флейте, но при этом скрипке доступно непрерывное *gissando* тонов, невыполнимое на обоих других инструментах. Двухзвучие доступно скрипке и фортепиано, но исключено для флейты, а пятитоновый аккорд можно взять только на фортепиано. Подобный же результат даст сравнение вычислительных возможностей счетов, счетной линейки и арифмометра, анализ поворотливости и проходимости в разных условиях обычной автомашины, гусенично-го вездехода и автомобиля с рулевой передачей на все колеса и т. д.

Это значит, что если удастся спроектировать и построить модель, способную воспроизводить какую-либо серию или континуум функций организма с одинаковым с ним распределением доступности или качества их выполнения, то это создает очень большую вероятность того, что подозреваемый в основе этой функциональной серии механизм «черного ящика» угадан верно.

Мне было бы трудно наметить в этом направлении сколько-нибудь широкую и конкретную проблематику. Назову только две задачи из близкой мне области физиологии движений, решение которых могло бы быть продвинуто моделированием с приложением к анализу принципа «равной простоты».

1. Прикрепив карандаш к запястью, т. е. ограничив его подвижность, считая от лопатки, четырьмя степенями свободы, мы в состоянии примерно с равной легкостью и мерой удачи выполнения начертить кривую или квадрат малой или большой величины на горизонтальной или вертикальной поверхности, перед собой или слева от себя и т. л. Как должен быть построен модельный механизм, управляющий че-

тырьмя степенями свободы, чтобы быть способным к подобному же обобщению в условиях и рамках *пространственного поля*?

2. На скорость и правильность зрительного, а также тактильно-гаптического распознавания нами *фигур* (треугольник, звезда, «конверт» и т. п.) и буквенных знаков явным образом не влияют ни размеры этих объектов, ни метрика их внутренних пропорций, ни тот или другой конкретный стиль шрифта, ни опять-таки их местоположение относительно нас (но за исключением поворота их во фронтальной плоскости). Какой механизм или процесс способен был бы обеспечить подобное этому *топологическое обобщение* контурных конфигураций? Удачное решение последней задачи могло бы существенно продвинуть стоящий на очереди практический вопрос создания *читающих автоматов*.

Выдвижения других проблем, заслуживающих модельного изучения и экспериментирования в этом направлении, будем ожидать от физиологов.

Очерк одиннадцатый Пути и задачи физиологии активности¹

Новые точки зрения и по-новому ставящиеся проблемы, связанные с развитием кибернетики, властно захватили и мышление физиологов. Преобладающая часть высказываний по этим вопросам в нашей физиологической периодике выражает стремление установить непрерывную связь положений современной теоретической кибернетики со взглядами и достижениями классиков отечественной физиологии. Это побуждает пристально и вдумчиво смотреть назад. Однако думается, что для непрерывного преемственного развития тех опередивших свое время строго материалистических идей и положений, которые переданы нам в наследство отечественными физиологическими школами И. М. Сеченова, И. П. Павлова, Н. Е. Введенского, А. А. Ухтомского, для дальнейшей разработки их вклада в биологическую науку сейчас значительно более важно глядеться *вперед*, пытаться наметить хотя бы в общих чертах те еще далеко не разрешенные *задачи*, которые вытекают из новых фактов и концепций, и те *пути*, которые еще требуют осторожного нащупывания, но, по-видимому, смогут привести к открытию новых больших горизонтов. Это еще и потому может оказаться плодотворнее ретроспективных поисков преемственности, что, судя по очень многому, биологические науки испытывают сейчас диалектический скачок развития, требующий смелого разрыва с позициями, уже пережившими свой период пениной прогрессивности, и поиска иных отправных точек, наиболее созвучных с настоящим моментом. К таким новым

направлениям исследования представляется правильным отнести изучение *физиологии активности*.

1. Для классической физиологии прошлого столетия характерны две четко определяющие ее черты. Первая из них — изучение отправлений организма в покоящихся, недействительных состояниях. Такие состояния, где только возможно, обеспечивались искусственно, путем мозговых перерезок, наркотизации животного, привязывания его к станку и максимальной изоляции его от внешнего мира. Такой аналитический подход к изучению состояний покоя вытекал из стремления исследовать каждый орган и каждый элементарный процесс порознь, исключив какие-либо влияния на них со стороны или друг на друга. Этот подход в общем соответствовал господствовавшему в то время в естествознании стихийному механистическому атомизму. Его абсолютизация вела к убеждению, что целое есть всегда сумма своих частей и ничего более, что организм есть совокупность клеток, а все поведение — цепь рефлексов и что глубокого познания этих отдельных кирпичиков достаточно для постижения здания, построенного из них.

Вторая характерная черта заключалась в положении, что организм находится в непрерывно-равновесном состоянии с окружающей его средой и что такое стойкое равновесие обеспечивается адекватными, правильно отлаженными реакциями на каждое очередное воздействие среды. Все бытие и поведение организма есть непрекращающаяся цепь реакций по схеме раздражение — ответ (сейчас сказали бы «вход-выход»). Знаменем классической материалистической физиологии стала оборванная в начале и на конце *рефлекторная дуга*, центральной задачей — анализ закономерностей *реакций* как строго детерминированных входно-выходных взаимоотношений.

Общие технико-экономические условия после первой мировой войны заострили внимание к *рабочим* состояниям организма. Возникли новые прикладные ветви: физиология труда и физических упражнений, психотехника, биомехани-

¹ Очерк был напечатан с некоторыми сокращениями в журнале: Вопросы философии. — 1961. — № 6. — С. 77.

ка. Естественно, стал пробуждаться интерес к движениям (здесь и далее всюду под этим словом будут подразумеваться целенаправленные двигательные акты, а не малозначительные обрывки движений вроде болевого отдергивания лапы или коленного рефлекса). Если в рамках старой физиологии покоя и равновесия этому разделу не уделялось достаточного внимания и места, то теперь стала уясняться его первостепенная важность. В самом деле, движения — это почти единственная форма жизнедеятельности, путем которой организм не просто взаимодействует со средой, но активно воздействует на нее, изменяя или стремясь изменить ее в потребном ему отношении. Еще И. М. Сеченов 100 лет назад указал на эту всеобщую значимость движений в своих замечательных «Рефлексах головного мозга». Если добавить, что за прошедшее с тех пор время уяснилось неотъемлемое участие движений во всех актах чувственного восприятия, в воспитании органов чувств в период раннего детства, наконец, в активной выработке объективно верного отражения мира в мозгу путем выверки синтеза восприятий через практику, то легко понять смещение центра тяжести интересов, которое все более стало ощущаться в современной физиологии.

Непрерывающийся рост сложности и мощности технических агрегатов выявил с полной очевидностью, что задачи регулирования и управления этими мощностями образуют самостоятельную область изучения, которая не менее сложна, важна и содержательна, чем сама энергетика, подлежащая управлению. Проблема «всадника» стала преобладать над проблемой «коня».

Аналогично этому и физиология, начав с изучения энергетики рабочих состояний организма (газообмен, отправление подсобных систем, непосредственно не принимающих участия во внешней работе, — дыхание, кровообращение, потение и т. п.), постепенно стала концентрировать внимание на гораздо более содержательных вопросах регуляции и центрального управления активностью живых организмов.

II. Для дальнейшего изложения необходимо вкратце остановиться на некоторых принципиально важных чертах управления двигательными актами как животных, так и человека, уже установленных с полной объективной достоверностью. Первая из них состоит в том, что зависимость между *результатом* (например, движением конечности или ее звена) и теми *командами*, которые подаются в ее мышцы по *эффлекторным нервам* из мозга, очень сложна и *неоднозначна*. Неоднозначность проистекает прежде всего оттого, что мышцы — это эластические жгуты (попробуйте мысленно заменить паровозный шатун резинкой или спиральной пружиной), эффект действия которых на орган движения существенно зависит от того, в какой позе и на какой скорости этот орган застигнут начавшейся активностью мышцы. Она обусловливается, далее, тем, что между шарнирно соединенными звеньями руки, ноги, туловища, как и в любом физическом многозвенном маятнике, при каждом движении возникают сложные и запутанные произвольные силы отдачи (*реактивные силы*). Наконец, эта неоднозначность является следствием того, что движения, имеющие какой-то реальный смысл, в преобладающем большинстве преодолевают какие-то *внешние силы* (тяжести, трения, сопротивления противника), уже полностью неподвластные действующей особи и не предусмотренные для нее. Очевидно, организм, для которого единственным каналом воздействия на внешний мир являются все-таки, только команды, подаваемые мышцам, может сделать свои движения управляемыми и отвечающими поставленной задаче только путем непрерывного слежения и контроля за их протеканием через посредство датчиков — органов чувств. Хорошо известная не только фи-

¹ Указанная зависимость между мышечным возбуждением и результирующим движением чрезвычайно далека от той картины, которая уверенно рисовалась физиологам прошлого столетия. Тогда казалось естественным трактовать двигательную область коры мозга как своего рода кнопочный пульт, на котором чья-то рука полностью выполняет рисунок того или иного двигательного стереотипа: нажим — раздражение одной хвостовой клетки вызывает всегда одинаковый элемент сгибания определенного сустава, нажим другой — его разгибание и т. п.

зиологам великолепная и разнообразная оснащенность организма сигнальными приборами, находящимися и в самих мышцах, и в суставах, и в главной наблюдательной вышке тела — голове с дальне-действующими органами зрения, слуха, обоняния, обеспечивая безукоризненное и непрерывное *кольцевое управление* и выверку (корректирование) движений даже таких многозвенно-подвижных цепей, как наши конечности с их мягкими движителями-мышцами¹.

Вторая черта, которая не могла не остановить на себе внимание, особенно в навыковых, хорошо отработанных движениях, — это их огромная *внутренняя связность*. Глубоко ошибаются те, кто рассматривает навыковые движения как какие-то кинематические стереотипы: начать с того, что устойчивость, стандартность формы вырабатываются мозгом выборочно только для тех видов навыков, для каких это реально необходимо (например, бег, спортивный прыжок и т. п.). А найдите-ка подобный стандарт в высочайше организованных навыках таких движений более высокого смыслового порядка, как рукодельные движения искусниц-кружевниц или часовых сборщиц, движения виртуозов смычка и клавиатуры и т. п.! Приспособительная изменчивость навыков движений неуклонно растет с возрастанием смысловой сложности действий, проявляясь сильнее всего в цепных навыковых действиях над предметами (справедливая житейская поговорка «не мытьем, так катаньем»). Но даже и в самых стандартных, с младенчества освоенных актах, как ходьба, достаточно было от приглядки перейти к применению точной аппаратуры, чтобы обнаружить, что ни один шаг не

идентичен другому даже на гладком месте, не говоря уже о скользком по неровной дороге.

Внутренняя цельность и связность проявляются на фоне этой приспособительной изменчивости в более тонких, бесспорных, хотя и далеких от полной объясненности фактах, не только изменение, внесенное в движение одного звена, иначе же сказывается на изменениях во всех остальных (это понять было бы еще проще всего), но также изменение в какой-нибудь одной фазе движения (например, в начале цикла) непременно влечет за собой определенные изменения в какой-либо другой фазе, не обязательно непрерывно следующей за первой. Ряд циклических движений, как ходьба, бег, опилка, летные движения крыла птицы или насекомого, с хорошим приближением целиком выражаются несложными кинематическими уравнениями, что опять-таки говорит об их целостной связности от начала до конца цикла. Может быть всего выразительнее тот широко известный факт, что навыковые движения типа работы молотком, бега, всякого рода легкоатлетических упражнений выполнимы далеко не «как угодно», а отливаются в небольшое число дискретных форм без переходов между ними, называемые в спорте стилями, в трудовых навыках — приемами. Итак, движения — не цепочки рефлексоподобных элементов, которые можно набирать как вздумается, наподобие типографских литер. Это целостно организованные структуры, постепенное развитие и становление которых, часто очень длительное и нелегкое, нам удалось подробно изучить на некоторых видах движений.

Третья важнейшая черта еще очень далека от ясности. Для ее первоначальной характеристики здесь потребуются наиболее вдумчивый анализ. Зато именно эта черта подведет нас прямым путем к мосту от *физиологии реакций*, долгое время монополюно владевшей вниманием психофизиологов, к *физиологии активности*.

III. Что является стандартным, устойчивым определителем той глубоко связной структуры двигательного акта, о ко-

¹ Здесь перед нами типичный случай системы *управления на обратных связях-устройствах*, в сравнительно простых формах широко применяемого в современной технической автоматике. Полноту стоит заметить, что тот же принцип регулирования по обратной связи в последние годы установлен для самых разнообразных отпавлений организма: реакций зрачка, кровяного давления, сердечной ритмики, химических равновесий и т.д. Как это стало неоспоримым теперь, всеобщей и господствующей формой управления и регулирования в живых организмах является не рефлекторная дуга, а рефлекторное кольцо.

торой шла речь сейчас? Таким стандартом-определителем не могут служить *эффекторные команды*. Выступая не иначе как в трио с двумя видами неподвластных сил (реактивными и внешними силами) и действуя на орган через нежесткую мускулатуру, они должны в широких пределах изменчиво приспосабливаться к контрольным сигналам, поступающим с органов чувств. Не могут им быть и эти афферентные (входящие) сигналы, потому что сигналы рассогласования столь же изменчивы, как и вызвавшие их причины, а главное, потому, что содержанием вносимой ими информации является «то, что есть», а отнюдь не «то, что надо сделать». Непригодны, наконец, для роли стандартов-определителей и те внутренние, еще не разгаданные мозговые механизмы перекодирования или перешифровки, которые преобразуют прибывающие к ним сигналы о ходе движения и о возникающих рассогласованиях в требующиеся команды нужным мышцам в нужный момент, поскольку они по необходимости так же гибки и нестандартны, как и те коды, которые им приходится перерабатывать.

Весь наш долгий опыт изучения двигательных форм, навыков, клинических расстройств показал с полной ясностью, что единственным стандартом-определителем и для программы двигательного действия, и для ее выполнения, и для корректирования по обратным связям может являться только оформившаяся и отображенная каким-то образом в мозгу *двигательная задача*. Анализ этого понятия и всего широко связанного с ним круга зависимостей и фактов и будет, по сути дела, посвящено все дальнейшее изложение этого очерка.

Если для начала не побояться простой житейской терминологии, то последовательность в возникновении и реализации любого действия из класса так называемых произвольных движений можно представить в виде следующих этапов:

1) воспринята и в нужной мере расценена *ситуация*, т. е. обстановка и сам индивид, включенный в нее; 2) индивид определяет, во что нужно ему превратить эту ситуацию, что

посредством его активности *должно стать* вместо того, *что есть*. Это уже выявившаяся двигательная задача. Нетрудно убедиться, что она содержит в себе больше информационного материала, нежели воспринятая ситуация; по крайней мере частично не содержится в последней. Стая животных или группа людей может быть застигнута общей для них всех ситуацией, однако двигательное поведение будет различным у каждого из них, чему легко подобрать примеры.

Затем определяется для индивида: 3) *вот что* надо сделать, 4) *вот как*, с помощью каких наличных двигательных ресурсов надо это сделать. Эти два микроэтапа представляют собой уже *программирование* решения определившейся задачи. За ним последует фактический процесс ее двигательного решения.

Вряд ли нужно специально подчеркивать, что и контрольная оценка последовательных моментов активного действия, и изменчивость самой ситуации, и грубоватая приблизительность, с какой, вообще говоря, только и можно спрограммировать немгновенное действие, — все это обуславливает приспособительную изменчивость программ и действия по ходу осуществления последнего, от мелких корректировок и до крутой смены стратегий.

Было бы ошибочным думать, что перечисленные микроэтапы перехода от ситуации к действию присущи только активности высокоорганизованных нервных систем. Те же этапы также имеют место и в таких примитивнейших действиях, как, например, охота хищной рыбы за живой добычей. Здесь налицо и ситуация, воспринимаемая в нужной форме и мере, и двигательная задача, и программа ее решения. Как именно кодируется то и другое в нервных приборах хищной рыбы или летучей мыши, нам совершенно неизвестно, но бесспорно, что для их действенности не нужны ни сознательность, ни особенно высокая нервная организация.

К сказанному выше о большем количестве информационного содержания в задаче по сравнению с наличной ситуацией надо добавить следующее.

С точки зрения зависимости реакции организма от вызвавшего ее раздражения или входного стимула построим мысленно ряд, в который расположим все действия (ограничившись здесь для ясности человеком) по признаку значимости для них такого пускового стимула. На одном из флагов этого ряда окажутся движения, полностью обуславливаемые пусковым стимулом — сигналом. Здесь мы найдем все так называемые безусловные, или врожденные, рефлексы. Здесь же окажутся и все выработанные прижизненно, но столь же полно зависящие от пускового сигнала реакции из обширного класса *условных рефлексов* как человека, так и животного.

Дальше в обсуждаемом ряду разместятся движения, для которых стимул или сигнал продолжает играть пусковую роль, но смысловое содержание которых во все возрастающей мере находится вне зависимости от него. Для двигательных актов этого класса пусковой сигнал все больше начинает приобретать черты «*пускового сигнала*», аналогично действию нажима на кнопку, включающего всю автоматику запуска ракеты, или сигналу «*гап!*» или «*марш!*», за которым следует действие с программой, в очень малой мере связанной по значению с этим междометием. Наконец, на противоположном фланге мы встретимся с действиями, для которых пусковой или спусковой сигнал вообще не играет решающей роли и может вовсе отсутствовать. Эти-то действия, для которых не только программа, но и инициатива начала целиком определяются изнутри индивида, в наиболее точном определении и являются тем, что принято называть *произвольными действиями*. Нетрудно увидеть, что перемещение вдоль нашего ряда совпадает с постепенным переходом от пассивных актов к проявлениям все возрастающей степени активности¹.

¹ Условные рефлексы приходится относить не к промежуточному, а к первому из перечисляемых здесь типов, так как в выработанном и дифференцированном условном рефлексе раздражитель выполняет не только пусковую, но и известительную функцию, полностью определяя, последует ли за ним ответный акт, или дифференцировочное торможение, или иная форма акта и т. п.

IV. Теперь посмотрим, что можно сказать в настоящий момент об обязательной предпосылке всякого акта превращения воспринятой ситуации в двигательную задачу: о феномене, который на житейском языке заслуживал бы названия «заглядывания вперед», а в более научном обозначении — *экстраполяции будущего*. Действительно, наметить двигательную задачу (независимо от того, как она закодирована в нервной системе) — это необходимо означает создать в какой-то форме образ того, чего еще нет, но что должно быть. Подобно тому как мозг формирует *отражение* реального *внешнего мира* — фактической ситуации *настоящего* момента и пережитых, запечатленных памятью ситуаций *прошедшего* времени, он должен обладать в какой-то форме способностью «отражать» (т. е., по сути дела, конструировать) и не ставшую еще действительностью ситуацию непосредственно предстоящего, которую его биологические потребности побуждают его реализовать. Только такой уяснившийся образ потребного будущего и может послужить основанием для оформления задачи и программирования ее решения. Несомненно, что такое отображение предстоящего обладает глубокими качественными отличиями от отображения прошедше-настоящей реальности, но, как покажет последующий разбор, возможность его существования в каких-то кодовых формах (вовсе не требующих субъективной сознательности) в мозгу как человека, так и животных не заключает в себе чего-либо порочного методологически.

В ряде случаев, удобных в качестве вводной иллюстрации, а возможно, также и для экспериментального исследования, «заглядывание в предстоящее», в котором идет речь, доступно и для самонаблюдения, и для хронометрических измерений. Это прежде всего те случаи, когда программа выполняемой двигательной задачи оформлена в виде материального кода, воспринимаемого органами чувств. Музыкант, играющий с листа, каждый из нас при чтении вслух текста обязательно опережает взором на каком-то временном отрезке ноты или слоги, которые фактически звучат в

данный момент, т. е. все время имеет в своем мозгу звуковой и психомоторный образ того, что еще предстоит двигательно реализовать через секунды или доли секунд. Выразителен опыт, легко производимый над самим собой. Попробуйте не спеша продекламировать про себя (так, как читают «про себя») какое-нибудь хорошо знакомое вам стихотворение.

Мысленно прислушиваясь при этом к себе, вы ясно замечаете, что перед внутренним слухом у вас одновременно проходят два текста: один течет в декламационном темпе, сопровождаясь иногда движениями губ. Вместе с тем на втором плане, опережая его, бежит другой текст, как если бы вам подсказывал стих за стихом какой-то внутренний суфлер. Нет сомнения, что психофизиологи сумеют предложить много более удачных и продуктивных форм опытов и наблюдений над этим феноменом.

Одна очень своеобразная группа явлений, наблюдавшихся на раз, показывает, что обсуждаемое здесь отображение предстоящего, не ограничиваясь только влиянием на ход программирования действий, может в известных случаях обладать огромной физиологической деятельностью, как если бы в самом деле предположаемое в будущем уже действительно существовало в настоящем. Я имею в виду источники *аффекта страха* — переживания, которое только и может возникнуть на основе яркого отображения в мозгу надвигающегося предстоящего. В старой и современной научной литературе имеется ряд описаний *смерти от страха*, настолько сильным может оказаться вегетативный шок, вызываемый таким кодовым отображением. В художественной литературе мы встречаемся с ним у Гоголя и Эдгара По¹.

Чтобы приблизиться к исследованию тех принципов и форм, по которым может быть закодировано в мозгу «отображение будущего» в самом широком смысле этого понятия (область нервных процессов, служащих основным, ведущим компасом организма во всех проявлениях его актив-

ности) и его существенных отличий от отображения прошлого-настоящего, придется начать с небольшого теоретического отступления.

Пусть все элементы некоторого множества E (любого числа измерений) соотнесены по определенному закону с элементами другого множества /так, чтобы с каждым элементом второго множества были приведены в соответствие один или несколько элементов первого, и наоборот. Множество E мы будем в указанном случае обозначать как множество — *первообраз*, множество I — как его *отображение*, принцип или правило соотнесения — как *закон отображения или проекции* E на I . Элементы множества первообраза могут (все или частью) являться функциями времени. Тем самым, очевидно, окажутся функциями времени и элементы множества I , а с ними и все множество /как целое. Функцией времени может быть и самый закон отображения. В таком случае отображение /будет двоякоизменчивым во времени как от той, так и от другой причины. Наглядным физическим примером сказанного может служить оптическое изображение на сетчатке глаза у человека, смотрящего на уличное движение из автомашины. Непрерывные изменения этого изображения будут обуславливаться собственными движениями видимых объектов и изменением закона оптической проекции на сетчатку глаза за счет собственного движения последнего.

Тому, кто специально не знаком с математикой, трудно представить себе, как велико многообразие мыслимых законов отображения, среди которых мы могли бы попытаться искать истинный закон или законы формирования отображения реального внешнего мира в мозгу. Между тем вызванное незнанием с теорией вопроса наивно-реалистическое обеднение гигантского класса таких законов уже неоднократно приводило физиологов и клиницистов к ошибочным концепциям, иногда безобидным, а иной раз увидевшим далеко в сторону от правильного понимания сущности вопроса.

Характерный пример уже изжитого недоразумения представляет вопрос о том, как обеспечивается прямое видение

¹ См. мою заметку «Смерть от страха ожидания смерти» (Наука и жизнь. — 1965. — № 2. — С. 149), где названные литературные примеры сопоставлены с реальными описанными случаями.

внешних предметов, несмотря на опрокинутость их изображения на сетчатке глаза. Почему, в самом деле, мы, невзирая на опрокинутость этого изображения, видим реальные предметы не «вверх ногами»? Почему слепорожденные, получив зрение путем снятия катаракта во взрослом возрасте, вынуждены вначале «учиться видеть», то, что в первые часы и дни представляется им непонятным хаосом цветowych пятен, но ни в одной фазе этого обучения не «видят» предметов перевернутыми и не имеют необходимости перечувствовать чему-либо в этом смысле? Одни психологи (довундтовского периода) ярко, другие завуалированно делают презумпцию о некоем внутримозговом «зрителе», которому предъявляется в зрительной зоне мозга поэлементный дубляж глазной сетчатки и который ей, чтобы видеть предметы правильно, обитает в мозгу «вниз головой» (что могла бы здесь представлять собой «голова?»). Другие считали более подходящим предположение, что жгут зрительного нерва переключен на своем пути на 180° и отображает в зрительной мозговой коре сетчатку, поставленную как надо, с головы на ноги, после чего внутримозговому зрителю уже можно пребывать в более или менее естественной позе. Авторы всех подобных гипотез не замечали, что главная, важнейшая ошибка их взглядов вовсе не связана с вопросом о размещении поэлементного отображения сетчатки в элементах зрительной зоны мозга. Ошибка (как это теперь очевидно для нас) состояла в постулировании раздельного существования в мозгу «зримого» и «зрителя». Первое зачем-то дублировало элемент за элементом наличествующую на сетчатке оптическую проекцию; второй каким-то образом воспринимал, «видел» этот дубляж, вроде того как сам субъект видит окружающий мир. Немного оставалось до того, чтобы постулировать у этого внутреннего зрителя свою «зрительную зону».

Ошибка описанного частного случая уже преодолена к нашему времени, и обрисовать ее стоило только ввиду ее поучительности. Другая важная ошибка, которую следует обсудить, живуча еще и теперь.

V. Генезис общей идеи о поэлементном дубляже в клетках мозговой коры всех полей органов чувств - зрения, слуха, Осязания, мышечно-суставной (проприоцептивной) чувствительности — нетрудно проследить. Огромный материал, накопленный экспериментальной физиологией и клиникой мозга начиная с 1870 г. (даты первого открытия в этой области), показал с несомненностью, что не только каждой категории чувствительности соответствует в коре мозга своя обособленная зона, но что в пределах этих зон имеется и нечто вроде поточечного соответствия с элементами периферической территории данного вида чувствительности, для одних зон менее, для других более четкого и дифференцированного. Особенно выразительно детализированными среди этих проекционных зон коры мозга оказались расположенные рядом зоны осязания и проприоцепторики, на которые действительно удалось нанести своего рода картографические проекции (правильные, однако, лишь в самых общих чертах) чувствительных поверхностей всего тела.

Текущая переменчивость изменяющихся от момента к моменту информации, поступающих от органов чувств в упомянутые первично проекционные зоны мозга, заставили по необходимости постулировать существование бок о бок с ними вторичных зон, осуществляющих функции длительного хранения (памяти) впечатлений, передаваемых им первичными зонами, но обладающих такими же, каките, точечно-проекционными свойствами.

Чтобы подойти теперь к анализу той присущей постулатам атомизма ошибки, которая, видимо, немало зависела от недостаточной осведомленности в области теории отображений и о которой было упомянуто выше, сделаем отступление.

Нетрудно показать с помощью двух-трех простейших наглядных примеров, что могут существовать пары множеств, которые, вне всякого сомнения, целиком проецируемы одно на другое и каждое из которых легко и очевидно расчленимо на составляющие элементы, но для которых поэлементное

соотнесение по типу упоминавшихся выше проекций «Ена J» приводит к явному абсурду.

Исполнительный чертеж машины содержит 1000 штрихов. Чтобы сделать эту машину, мастер должен выполнить 1000 операций. Значит ли это, что выполнение каждого штриха требовало отдельной операции?

Я сделал доклад, состоявший из 1000 слов. Мой оппонент полностью опроверг меня речью также из 1000 слов. Следует ли отсюда, что каждое из слов, произнесенных им, опровергало одно из слов моего доклада?

1000 человек прочли книгу в 1000 страниц. Можно ли понимать это так, что первый читатель прочел первую страницу, второй — вторую, сотый — сотую?

Reductio ad absurdum часто является очень полезным приемом для обнаружения ошибочного хода мыслей. Вооружась приведенными примерами, обратимся к разбору основных положений теории вторичных полей, после чего можно будет попытаться подойти к теоретическому обобщению сказанного.

Что мы видим, осязаем, воспринимаем любым из наших органов чувств? Вещи, предметы. Что является элементами множества окружающего нас мира? Предметы. Что должно явиться элементами для мозговой проекции типа «Ена J» в соответствующих корковых системах и их клеточках? Ясно, что предметы же, которые фигурируют здесь и как отдельные отображаемые мозгом элементы внешнего мира и как стимулы, — сигналы реакций на него. Для них всех и постулируется поэлементная «сигнальная» система мозга, где по клеткам (в своего рода «клеточке») размещены все переданные к ним из первичных проекционных зон восприятия — образы конкретных вещей.

Если порочность подобной трактовки внутримозгового отражения еще недостаточно выпукло явствует из сказанного до сих пор, то последуем тем же путем дальше.

Областью мозговой деятельности, монопольно доступной только человеку, является *членораздельная речь*. Как же

отображена и системно представлена речь в мозгу человека? Коллекция поэлементных отображений у нас уже есть в виде первой сигнальной системы. Но слова — названия предметов, поэтому достаточно произвести еще одну поэлементную проекцию, исходя из этой сигнальной системы, и мы получим вторую сигнальную систему, так сказать, проекцию проекции, в которой каждому предметному сигнальному образу — элементу первой системы будет соответствовать его название во второй. Видимо, атомизм есть нечто очень цепко представляющее в мышление, если до сего времени существуют такие толкования второй сигнальной системы, согласно которым речь, орудие мышления неисчерпаемой мощности, сводится до уровня назывательного словника конкретных предметов в именительном падеже единственного числа.

Ни рамки, ни задачи настоящего очерка не позволяют подробнее задерживаться на затронутой теме. Ограничимся поэтому двумя-тремя вопросами: 1) сигналами чего именно во второй сигнальной системе являются такие элементы ее состава, как «опять», «двумя», «без», «ведь», «или»? 2) как и где поэлементная второсигнальная система-проекция размещает в своем составе такие сигнальные слова, как «ты мыслишь, он не мыслит, мы помыслим, вы мыслите, они не будут мыслить» и т. д.? 3) о таких словах-сигналах, как «волновая функция», «кватернион», «антимония», «трансфинит», может быть, лучше и не говорить?

К такой же категории ошибочных соотношений двух бесспорно расчленимых на элементы и бесспорно же соотносимых одно с другим множеств относится и бытовавшая на стыке психиатрии и нейрохирургии ныне разоблаченная как

¹ Убеждающий пример проверки через практику: не может не остановить на себе внимания выявившаяся невозможность применения многолетней продукции по линии второй сигнальной системы для задач алгоритмирования машинного перевода, где настоящая физиологическая теория языка и речи должна была бы занимать ведущее место. Содержательный анализ сущности и причин этого факта см. в кн.: *Успенский Л. Слово о словах*. — М.: Молодая гвардия, 1960, — С. 283; *Кулагин О. Об оперативном описании алгоритмов перевода* // Проблемы кибернетики. — 1959. — Вып. 2. — С. 289.

ошибка и отвергнутая теория «психоморфологизма», которая классифицировала и подразделяла элементарные психические функции и симптомы их нарушений, соотнося их затем с различными определенными мозговыми локализациями. И здесь, очевидно, аберрация сводилась к той ошибке, которую в соответствии с первым из приводившихся примеров - абсурдов можно было бы назвать «ошибкой машины и чертежа».

VI. Теперь своевременно перейти от иллюстраций к обобщениям. Представим себе, что в множестве E среди его элементов имеются связи, тем или иным образом объединяющие эти элементы в подмножества по определенным законам, или даже, что мы сами наложили на множество такие упорядочивающие связи, расчленяющие его на семейства подсистем элементов. Простейшим примером такой операции может служить нанесение на плоскость или на шаровую поверхность системы координат. Можно указать немало примеров и таких множеств, в которых подобного рода расчленение не наложено извне, а присуще множеству самому по себе и нуждается только в том, чтобы быть подмеченным и сформулированным.

Пусть теперь с элементами некоторого множества M соотносены не отдельные элементы E (как было в случае поэлементной проекции «Еш. /»), а целые подмножества его элементов - представителей его системного расчленения. В случаях этого рода мы будем называть множество M моделью множества E , а самый принцип данного расчленения и соотношения — оператором моделирования.

Нет нужды подчеркивать, насколько разнообразными могут быть формы и принципы моделирования. В одних случаях каждой функции из семейства, заполняющего множество — первообраз E , соответствует в M определенное число (так называемый функционал). В других случаях оператор моделирования обуславливает упорядочивание или группировку функций первообраза в последовательности (континуальные или дискретные) так, что каждой такой последова-

тельности отвечает в M своего рода «функция функций». Сами формы выборки функций — представителей первообраза могут обладать очень большим качественным разнообразием. Отображения в модели могут исчерпывающе охватывать все непрерывное множество системных функций, покрывающих первообраз, или воспроизводить только дискретно выборочные из их числа (например, с целочисленными значениями параметров ит. п.), или соотносить с каждым элементом либо констелляцией элементов модели дискретные функции оси первообраза E , охваченные вероятностно определяемыми полосами территории вдоль них, ит. д. Сейчас важно сформулировать несколько основных положений, базирующихся на всем сказанном и относящихся прямым образом к нашей теме.

Охарактеризовав расширенные рамки принципа отображений, мы можем с достаточной уверенностью утверждать, что мозговое отражение (или отражения) мира строится по типу моделей. Мозг не запечатлевает поэлементно и пассивно вещественный инвентарь внешнего мира и не применяет тех примитивных способов разделения этого мира на элементы, какие первыми придут в голову (фразы — на слова, чертежа — на черточки), но налагает на него те операторы, которые моделируют этот мир, отливая модель в последовательно уточняемые и углубляемые формы. Этот процесс, или акт мозгового моделирования мира, при всех условиях реализуется активно. Действительно, если принцип расчленения, систематизации и образования систем подмножеств налагается на первообраз самим мозгом, то этот процесс сформулирования и применения оператора моделирования активен по самому существу. Если же закономерности внутреннего членения множества E присущи ему самому, то обнаружить их, признать их значение и применить в качестве операторного принципа все равно можно только путем активного прощупывания и исследования.

Более чем вероятно, что в теснейшей связи с прежней трактовкой организма как системы, пассивно подвергаю-

щейся непрестанному воздействию стимулов, на которые она закономерно отвечает реакциями, стоит и тезис о перманентно-равновесном состоянии организма со средой, в которую он погружен. Между тем этот тезис ошибочен и глубоко механистичен. Ни одна из систем, живых или мертвых, подчиненных второму закону термодинамики, не могла бы ни двигаться, ни изменяться и еще менее приспособительно изменяться (в чем и состоит весь жизненный процесс живых систем), если бы не перманентное *нарушение равновесия*, которое живая система организма непрерывно стремится активно минимизировать, никогда, однако, пожизненно не достигая обращения этого нарушения в нуль. Равновесие для живой системы равнозначно смерти.

Существенное отличие живых систем от системы неживой природы в том, что в первых при неукоснительном подчинении второму закону по общему итогу всех термодинамических процессов в организме имеет место его преодоление в смысле увеличения энтропии во всех проявлениях активного поведения и структурирования, к чему мы вернемся ниже. Живые системы непрерывно *сами создают* условия нарушенного равновесия, связывая в нераздельном единстве внесение или углубление нарушений равновесия с окружающим миром и борьбу за их минимизацию.

К общей характеристике свойств активного операторного моделирования мира мозгом надо добавить еще несколько положений.

Накладывая на первообраз *E* ту или иную систематизирующую закономерность или формулируя закономерность, подмеченную в самом первообразе, мозг этим вносит в него от себя какое-то количество добавочной информации, но зато получает этой ценой резко сэкономленную количественно, но обогащенную смысловым содержанием информацию об этом первообразе. Образно можно было бы сравнить привносимую изнутри вспомогательную информацию с ферментом, небольшие количества которого, выделенные

организмом, создают оптимальные условия для усвоения значительно большего количества питательного продукта.

Попутно делается ясной принципиальная порочность позиции, согласно которой постулировался внутримозговой дубляж чувственных периферий (сетчатка, кожа и т. д.), чтобы быть предъявленным со всей первичной обстоятельностью мозговому «зрителю», уже упоминавшемуся выше. Подобный дуализм «зрителя» и «зримого», из-за которого, собственно, только и требовался этот детальный дубляж, становится излишним и ненужным с позиций активного операторного моделирования. Модель не созерцается извне чем-то противопоставляемым ей самой, а создается слитное, неразделимое единство процессов и механизмов переработывания впитываемой информации с создающейся из них моделью, все время изменяющейся, не теряющей сходства и единства с собой и направляющей поток активного поведения организма.

Уже упоминавшееся в качестве базиса для каждой двигательной задачи «заглядывание в будущее», или, как теперь уже можно сказать, *модель будущего*, заставляет признать, что в мозгу сосуществуют в своего рода единстве противоположностей две категории (или формы) моделирования воспринимаемого мира: модель прошедшее-настоящего, или ставшего, и модель предстоящего. Вторая непрерывным потоком перетекает и преобразуется в первую. Они необходимо отличны одна от другой прежде всего тем, что первая модель *однозначна и категорична*, тогда как вторая может опираться только на экстраполирование с той или иной мерой *вероятности*.

В качестве небезынтесного сопоставления стоит отметить, что мозговые корковые системы, наиболее тесно связанные с восприятиями (так сказать, входные системы), занимают собой *задние* половины полушарий, где размещены первичные поля зрения, слуха и осязания и где повреждения или утратам мозгового вещества всегда сопутствуют нарушения элементарных или обобщающих процессов восприятия. Коровые системы, столь же тесно связанные с выпол-

пением движений, их инициативой, программированием, стратегией и т. д. (выходные системы), заполняют собой *передние* половины полушарий. Это создает и любопытную аналогию с патриархом нервной системы — спинным мозгом, где налицо такое же относительное расположение входных (задних) и выходных (передних) нервных корешков. Хорошо известно, что выпадение какой-либо функции вслед за утратой того или другого участка мозга означает отнюдь не то, что выпавшая функция была локализована в утраченном участке, а только то, что его наличие и его проходимость были существенно необходимы для беспрепятственного протекания данной формы нервного процесса: выход из строя передаточной шестеренки часов останавливает часы, но функция часов отнюдь не «локализована» в сломавшейся шестеренке. Не строя поэтому неправомерной гипотезы о раздельной мозговой локализации моделей ставшего и будущего, мы, однако, вправе представлять себе динамику мозгового нервного процесса как два встречных потока, наиболее тесно связанных, один — с субстратом задних половин полушарий, другой — с субстратом передних. Анализ биоэлектрических явлений мозга, углубленный и опирающийся на новые концепции, сможет, вероятно, прояснить очень многое в этом направлении.

Вопросы, относящиеся к модели ставшего, выходят за рамки настоящего очерка. К тому же по этой линии уже многое расследовано психофизиологами. Ограничимся только одним примером, который сможет попутно показать, какую огромную практическую важность может подчас иметь выяснение структуры оператора и операторной модели объектов воспринимаемого мира. Дело касается процессов восприятия конфигураций.

Зрительный образ круга имеет пять степеней свободы (или пятимерный континуум) многообразия оптических проекций его на сетчатку глаза. Не переставая быть треугольником, соответствующая этой фигуре оптическая проекция имеет шесть степеней, проекция буквы «Н» — 12 степеней

свободы, другие письменные знаки — иногда еще большие количества. Это не препятствует, однако, тому, чтобы мозговой операторный процесс (пока совершенно неизвестной нам структуры) соотносил в каждом из подобных примеров все гигантское многообразие их оптических изображений и (предполагаемых) поточечных проекций к единому смысловому коду фигуры. Не может быть сомнения, что будущая, действительно работоспособная машинная модель для опознания букв независимо от размера и рисунка шрифта будет работать *не путем пассивного* и неосмысленного сканирования, как описывавшиеся доселе опытные образцы, а только по принципам мозгового операторного моделирования, когда они будут для этого случая познаны.

VII. Та замечательная форма мозгового моделирования, которая только вслед за подъемом интереса к физиологии активности и смогла попасть в поле зрения исследователей, — *моделирование будущего*, к которому мы теперь переходим, возможна, разумеется, только путем *экстраполирования* того, что выбирается мозгом из информации о текущей ситуации, из «свежих следов» (уже обрисованных мною выше, в очерке 8) непосредственно предшествовавших восприятий, из всего прежнего опыта индивида, наконец, из тех активных проб и прощупываний, которые относятся к классу действий, до сих пор чрезвычайно суммарно обозначаемых как «ориентировочные реакции» и, несомненно, резко недооцененных в отношении их фундаментальной значимости.

Сам по себе комплекс нервных процессов, образующий модель будущего, еще настолько неясен и загадочен, что сказать о нем можно немного. Кроме бесспорного положения, что этот комплекс существует и играет важнейшую, направляющую роль в том активном воздействии на окружающий мир, которое упоминал ось выше, нужно отметить следующее.

В резком отличии от модели ставшего модель будущего может иметь только *вероятностный* характер. Антиципация, или предвосхищение, того возможного исхода либо исходов, к которым движется текущая ситуация, возможна только пу-

тем экстраполирования, которое, вообще говоря, никогда не может привести к категорическому результату. В любой фазе этого процесса мозг в состоянии лишь наметить для предстоящего момента своего рода таблицу вероятностей возможных исходов (табл. 1).

Таблица 1

Исходы	A	B	C...	M...	X	Y
Вероятности	P_A	P_B	P_C	P_M	P_X	P_Y
	1	1	1	1	1	1
Двигательная задача	0	0	0	1	0	0

Вряд ли нужна особая оговорка, что в интересах анализа мы прибегаем здесь к очень большой схематизации.

В то же время двигательная задача, которую определяет для себя индивид, формулирует с категоричностью единственный исход из текущей ситуации, какова бы ни была его априорная вероятность в таблице самой по себе (хотя бы она там равнялась нулю). Таким образом, активность, направляемая противопоставлением вероятностной модели будущего и определившейся задачи, представляет собой динамику борьбы индивида за превращение вероятности P_M нужного ему исхода в единицу или совершившийся факт с аннулированием всех остальных табличных вероятностей. Очевидно, что эта борьба ведет к понижению энтропии системы, включающей в себя индивида и его непосредственное окружение, т. е. представляет собой всегда негэнтропический процесс.

Описываемая борьба протекает в сложном, многократно переменном поле условий. Во-первых, доступная мозгу экстраполяционная оценка перспектив и исходов поневоле грубо приближительная (хотя, вероятно, соотносительно с потребностями данного живого существа она не грубее у самых низких по уровню организации животных, чем у существ с высокоразвитым мозгом), причем погрешности экстраполяции возрастают с удлинением того промежутка времени Δt , на который делается попытка предвосхищения.

Во-вторых, сама оценка зависит от срока, каким располагает субъект для ее выполнения: если события развертываются быстро и индивид находится в «жизненном цейтноте», то он вынужден ограничиваться первыми, грубо разведочными оценками, не имея времени для более точных. Но даже в не условий угрожающего цейтнота выбор стратегии поведения является всегда и выбором между быстрыми, хотя и менее уверенными и более медленными, но более надежными оценками. В-третьих, наконец, само поле условий изменчиво во времени и находится вне зависимости от действий индивида, так что фактически он все время находится в своего рода конфликтной ситуации с окружением. Уже отсюда видно, какую важность для физиологии активности должна иметь разработка теории игр.

К числу ближайших задач, требующих совместной работы физиологов и математиков, относится вопрос о том, какого вида экстраполяции используются нервными системами как низших, так и высших организмов и какими механизмами они располагают для таких отпавлений. В области низовых, чисто биомеханических регуляций, опережающих движение на минимальные отрезки времени, мы, видимо, встретимся с экстраполяцией по типу разложения в ряд Тейлора с использованием отпавных значений двух первых производных, сигнализируемых суставными и мышечными рецепторами (или, как это можно считать, экстраполяцией). По отношению к более ответственным в смысловом плане сторонам движения, которые могут уже потребовать перепрограммирования на ходу, высшие координационные системы и синтезы мозга обнаружат перед исследованием формы вероятностной экстраполяции, находящейся у них «на вооружении», и, несомненно, также те методы активного прощупывания, которые находят формулировку и практическое применение в современной вычислительной математике (так называемые методы нелокального поиска)¹.

Тельфанд И. М. Принцип нелокального поиска в системах автоматической оптимизации / И. М. Тельфанд, М. Л. Петлиш // Докл. АН СССР. — 1961. — Т. 137. — Вып. 2.

Необходимо подчеркнуть решающее принципиальное различие между этими намеряемыми физиологией активности проявлениями экстраполяционного поиска и путем, описывавшимся бихевиористами под названием «проб и ошибок». Под последними понимается последовательность попыток, каждая из которых не обусловлена предыдущими и является одинаковой с ними мере производится наудачу. Здесь активна только внешняя форма - выполнение пробных действий, накопление же опыта трактуется, по сути, как чисто пассивный статистический учет удач и неудач. Образно говоря, тут каждая проба информирует о том, что «нельзя», не указывая ничем, где и как искать то, «что нужно». Не случайно этот принцип так легко имитируется в машинных моделях.

В отличие от него тот активный «нелокальный поиск», который, видимо, является действительным орудием ориентировочного поведения, после первой же пары попыток, случайных или приблизительно направленных элементарными градиентными механизмами, заключает по ним, как и куда должен быть сделан очередной шаг. Каждая проба уточняет таким путем оптимальное направление, по которому может быть добыта наибольшая и самая ценная информация.

VIII. Что известно сегодня экспериментальной физиологии о проявлениях и эффектах «модели будущего» и какие направления исследования могут здесь быть намечены на основе всего точно известного сейчас? Обратимся снова конкретно к движениям.

Из многообразных функций центральной нервной системы по управлению двигательным актом раньше всех остальных уяснились процессы корригирования движения по ходу его выполнения, совершаемые посредством колец обратной связи с многочисленных датчиков тела. Посредством такой непрерывной коррекции обеспечивается важнейшая биомеханическая предпосылка для выполнения любого целенаправленного движения: преодоление всего огромного избытка степеней свободы, которыми наделены наши двигательные органы, и превращение их этим путем в управля-

емые системы. Эта функция и представляет собой техническую сторону *координации движений*.

В протекании координационного процесса (в микроинтервалах времени и пути движения) важнейшую роль играют (характерные особенности самого общего и первичного свойства) всех возбудимых органов, состоящего в том, что все они обладают *конечными* и при этом *переменными* значениями *порогов возбудимости*. Их абсолютные величины чрезвычайно разнообразны у разных органов, а у каждого данного органа могут изменяться в широких пределах в зависимости от их фонового физиологического состояния.

Отсюда проистекают следствия первостепенного значения для управления двигательным аппаратом. Центральные мозговые системы организации и координирования двигательных актов, оснащенные всем богатством контрольных чувствительных датчиков, обладают благодаря последнему из названных выше свойств широкими возможностями для того, чтобы не только исправлять *post factum* возникающие рассогласования между намерением и действительным ходом движения. Опираясь на намеченную программу действия, центральная нервная система в состоянии осуществлять и действительно осуществляет еще и *преднастройки* возбудимости всех занятых чувствительных и двигательных элементов. Эти интереснейшие, все еще пока ошупью изучаемые регуляции *ante factum*, как бы опережающие движения на микроотрезке времени и явственно связанные со всеми обсуждавшимися выше механизмами антиципации и экстраполяции, получали в различных условиях наблюдения и от разных наблюдателей названия то нервно-мышечного тонуса, то физиологической *установки*, то (в последние годы) функции ретикулярной формации мозга, хотя все большее количество данных говорит о том, что здесь мы имеем дело с одним и тем же обширным кругом взаимосвязанных фактов.

В наиболее точном и современном определении нервно-мышечный тонус есть центрально управляемая настройка всех функциональных параметров каждого мышеч-

ного элемента и его эффекторного нервного волокна. Эта настройка сказывается и на механических свойствах мышцы, как в возбужденном, так и в невозбужденном состоянии (ее упругости, растяжимости, вязкости), на степени и быстроте возбудимости ее нерва и, вероятно, на скорости проведения по нему возбуждения. По ходу движения одни мышцы заранее (за доли секунды) притормаживаются, возбудимость других, которые должны начать действовать, увеличивается вследствие понижения их силовых и временных порогов и т. д. Эта фоновая преднастройка важна еще и потому, что скорость движения импульсов-сигналов по нервам ограничена, а при переходах с одного нейрона на другой происходят еще потери миллисекунд на «синаптические задержки». Таким образом, без описанного опережения полезные эффекты действия сигналов обратной связи неизбежно запаздывают бы по отношению к тем нарушениям движения, о которых они сигнализируют.

Эти процессы опережающей преднастройки наблюдаются при современной электрофизиологической технике лишь с трудом и отрывочно. Естественно, что удобнее всего улавливать их *перед началом* движения, когда слабые и нежные биоэлектрические проявления тонических команд не заслонены гораздо более мощными и высоковольтными потенциалами действия. Эти предваряющие начало движения тонические сдвиги именуются тогда нервно-мышечными эффектами *установки*. Усовершенствования техники регистрации биоэлектрических явлений в мышцах и нервах позволят изучать установочные процессы («стрелочные переводы», по образному выражению *Lapicqm*) в течение всего двигательного акта.

Наиболее интересные, но еще только начинающие выявляться проблемы связаны, конечно, с центральной мозговой регуляцией установочных процессов. Некоторые из проблем, намечающихся в этом направлении, неожиданным образом снова и с новой стороны поведут нас к коренным во-

бросам мозгового отображения и кодирования. Начнем несколько издалека.

Физиологи уже давно и четко разграничивают две очень различающиеся между собой формы возбудительного процесса, одновременно и совместно существующие в нервном и мышечном субстрате. Одна из этих форм, более молодая в эволюционной истории (ее правомерно называть неокинетической), проявляет себя ритмическими цепочками взрывообразных импульсов возбуждения (так называемых пиков действия, или спайков, — *spikes*), подчиненных закону «все или ничего», т. е. имеющих при каждом данном значении своих параметров возбудимости одну и ту же высоту в ответ на воздействие любой надпороговой силы. Эти импульсы распространяются без затухания и со значительными скоростями (метры и десятки метров в секунду) вдоль нервных волокон, благодаря тому, что последние на всем протяжении «рефлекторных колец» снабжены изолирующими миелиновыми оболочками со свойствами диэлектриков, нервные импульсы — бегущие по смежным волокнам, тесно упакованным в нервном стволе, не создают взаимных помех и утечек, что дает полное основание обозначить их как *канализованную* или, короче, *каналовую* форму нервного процесса.

Вторая форма проявлений активности в нейронах и мышечных единицах, более древняя по своему появлению в филогенезе (палеокинетика), сохранившая у высших млекопитающих и человека монополярное положение по управлению гладкой мускулатурой внутренних органов, приняла на себя в их органах чувств и движений роль передатчика тех тонических настроечных функций, о которых выше шла речь. Ее проявления резко качественно отличаются от неокинетических: они дозируемы, т. е. чужды закону «все или ничего»; они двучастны, т. е. могут проявлять себя возбуждением или торможением; их активность лишена взрывообразности, допуская вместо миллисекундных дискретных пиков медленные волны любой формы и высоты. Самое своеобразное свойство их заключается в том, что диэлектрические оболоч-

ки волокон не составляют для них преграды, так что они, по крайней мере какой-то важной своей составляющей, способны распространяться *поперек волокон*¹. Справедливо поэтому данную форму в противоположность некинетической канальной определить как *волновую* форму нервного процесса. Естественно, что в сравнительно тонких периферических нервных стволах последнее свойство не находит себе достаточного простора. Зато по отношению к головному мозгу можно утверждать с уверенностью, что именно эти волновые процессы, пронизывая значительные толщи мозгового вещества и вдобавок черепные покровы, улавливаются в настоящее время посредством электроэнцефалографии как то, что и в нестрогом обозначении именуется *биотоками головного мозга*.

Не надо забывать, что канализованные, строго изолированные друг от друга некинетические цепочки импульсов в нейронах головного мозга не в состоянии выбиться из русел своих оболочек и обнаружить себя в электроэнцефалограммах. Энцефалограммы, кстати сказать, не имеют никакого сходства ни по частотам, ни по формам с импульсовыми цепочками «все или ничего», наблюдаемыми в нервных волокнах, ни с любыми суперпозициями их. Не только соображения аналогии, но и ряд кинетических наблюдений, особенно над анамнезами электроэнцефалограмм при болезненных состояниях, не оставляют сомнения в том, что и в головном мозгу волновая форма процессов играет какую-то важную роль в регуляции канализованных процессов. Более чем вероятно, что их регуляционная активность стоит в теснейшей связи с функциями *реткулярной формации* мозга, упомянувшей выше. Не касаясь далее этой части проблемы, интенсивно и успешно разрабатываемой в наши дни эксперименталистами и клиницистами, перейдем к вкратце рассмотрению этой проблемы с другой стороны.

¹ Указанную разницу в свойствах проницаемости нервных оболочек по отношению к некинетическим и палеокинетическим формам нервного процесса естественнее всего объяснять тем, что этот процесс ни в той, ни в другой форме не исчерпывается только электрическими явлениями и несомненно, имеет ряд еще неизвестных слагающих и характеристик.

IX. История науки о функциях мозга пережила за два столетия своего существования несколько крутых колебаний. Тяжело двумя противопоставлявшимися друг другу воззрениями на связь этих функций с мозговым субстратом. После того как в первой половине XIX в. труды Флуранса и его современников, казалось, обеспечили полное торжество антилокализационной точки зрения, т. е. признания мозговых процессов (исключительно волновыми, протекающими на недифференцированном субстрате, открытие проекционных зон коры (с 1870 г.) заставило маятник взглядов резко качнуться в другую сторону. Именно накопление все большего количества (фактических данных о первичных проекциях привело к интенсивному развитию всех тех воззрений клеточного централизма, которых мы уже касались в этом очерке. Головной мозг стал трактоваться как высокодифференцированное вещество исключительно канальных процессов в нервных проводниках (аксонах) с клетками-головками соответствующих нейронов в роли спусковых кнопок действия в двигательных отделах и в роли хранителей-накопителей приобретенного опыта миропознания — в чувствительных зонах.

Узость этой позиции была настолько явной, что уже на памяти живущего поколения, в 30-х годах, «крайняя левая» антилокализационизма снова подняла голову, пытаясь доказать (школы *Lashley*, *Weiss* и до.) полную обездвижку клеток головного мозга и необходимость переноса всего центра тяжести учения о дифференциации нервных процессов на поиски специфичности самих импульсовых кодов, протекающих по нервам и по мозговой массе.

Сейчас нет уже надобности решать вопрос о правоте того или другого из крайних направлений, ставить проблему в плоскости «или — или». Хотя в гигантском фактическом материале, накопившемся к нашему времени, есть солидные аргументы в пользу как одной, так и другой точки зрения, было бы уже нецелесообразно подвергать их дискуссии или же искать эклектических примирительных решений. Настало время ясно понять следующее.

Высочайшая дифференцированность коркового мозгового субстрата, особенно у высших животных, находится сейчас вне всякого сомнения. Но именно поэтому в огромном конгломерате активных возбудимых элементов-нейронов, находящихся в полужидкой электролитной среде, есть все условия для развития поперечных волновых процессов взаимодействия между множеством этих элементов. Более того, трудно было бы оспаривать сейчас, что *нем выше возрастают морфологическая, «локализационная» дифференциация и расчлененность мозгового субстрата, тем интенсивнее и предпосылки к развитию в нем или на нем и нелокализуемых, волновых процессов.* Любой электрик, имеющий дело с переменными токами и полями, подтвердит, какую заботу приходится проявлять по части экранировки собираемого афегата от взаимных индуктивных и емкостных влияний его элементов. Конечно, в безмерно большей степени это должно относиться к сложнейшему живому агрегату внутри жидкой электролитной массы, свойства и заряды которой являются переменными в функциях как времени, так и координат каждой его точки.

Менее всего правильным было бы представлять себе волновые процессы головного мозга как макроскопические фронты, сравнимые по масштабам с габаритами всей черепной коробки. Наоборот, в соответствии с микроскопической неоднородностью мозговой массы по ее изменчивым электрическим параметрам и мгновенным распределениям в ней зарядов необходимо представлять себе эти процессы как имеющие очень тонкую, «кружевную» пространственную и временную структуру. Те колебания, которые регистрируются через черепную крышку как электроэнцефалограмма, представляют собой, конечно, не более как слитный «гул».

Трудно сомневаться в том, что на волновые процессы, складывающиеся из бесчисленных «поперечных» взаимодействий нейронов и проводящих путей мозга, должна налагаться и, видимо, в какой-то форме доминировать над ними тоническая регуляционная активность со стороны ретикулярной формации гипоталамического аппарата, а, возмож-

но, также со стороны мозжечка и стволовых клеточных ядер мозга. В этих областях еще бесконечно больше несделанного, чем сделанного!

Вся эта констатация, во весь рост ставящая перед физиологией задачу изучения центрально-нервных процессов как непрерывного синтеза канальных и волновых слагающих, снова и напоследок подводит нас к вопросу о мозговых моделях и о проблеме раздвоения «зримого» и «зрителя».

Клеточные центры действительно обходили вопрос о том, что же именно отлагается в клеточках вторично-проекционных полей в качестве поручаемого им содержания. Что (кроме постулированного школой условных рефлексов неопределенного «хронического возбуждения») запечатлевается в клетке, которая должна хранить месяцы и годы образ стола, лампы, гипотенузы или наименования их? Если эти содержания переданы мозгу соответствующими кодами, то как, по каким признакам такой код находит для себя подходящую, еще не занятую клетку и в каком виде он там поселяется?

Вопрос о том, что представляют собой информационные мозговые коды и сохраняющие их в мозгу механизмы памяти, до сих пор остается далеко не ясным. Но необходимо дойти к нему с более современных позиций.

Неправомерность противопоставления друг другу «зримого» и «зрителя» в мозгу уже была подчеркнута выше. На месте пассивно ожидающего информации «зрителя» мы мыслим себе теперь активные операторы, объединяющие в синтетические динамические формы захват информации, ее модельное переоформление и инициативу предпринимаемых действий. Физиологически также на месте стационарных клеток, пассивно вбирающих в хранящих каким-то образом микроскопические атомы отображения мира, мы ожидаем встретиться с динамикой синтетического нервного процесса, одновременно многоканального и волнового, едва лишь начавшего изучаться в этих аспектах. Наиболее обоснованным представляется сейчас суждение, что противопоставление первоначально безличной мозговой клетки вво-

димому в нее совершенно инородному и чуждому ей смысловому содержанию столь же неправомерно, как и противопоставление внутренним «зрителя» и «зримого».

Если каждый активный процесс вое приятия-действия связан с образованием в недрах мозга соответствующего оператора, то наиболее вероятной формой для последнего должен являться сформированный определенным образом контур, обуславливающий новый маршрут циркуляции по нему и каналового, и волнового процесса, — контур, для которого существенна и характерна сама динамическая форма его организации и связей, а не заполнение тем или другим содержанием вовлеченных в него клеток, синапсов, межучасточной ткани и т. д. Для наибольшей краткости и схематизации можно было бы сказать, что смысловое содержание и действительность данного участка модели мира не заключаются в чем бы то ни было, а сами есть не что иное, как оператор в установленном здесь смысле этого термина.

Настоящий очерк о намечающихся путях и задачах физиологии активности не претендует на то, чтобы быть программным, и поэтому, конечно, далеко не исчерпывает круга относящихся сюда вопросов. В нем оставлена совершенно в стороне вся проблема *аффективной мотивации* произвольных действий и физиологии связи между аффективной и познавательной активностью. Не могли быть затронуты в нем и вопросы ярко выраженных негэнтропических процессов развития и роста организмов, начиная со стадии оплодотворенной зародышевой клетки и закодированной в ней тем или иным образом *модели будущего* организма, который будет из нее построен. В стороне остались и такие кардинальные вопросы структурирования, как взаимоотношения схемы и метричной формы, качественного и количественного в процессах развития и действия. И все же, если и по затронутому неполному кругу вопросов этот очерк сумеет пробудить те или другие перспективные для исследовательской работы мысли, веские возражения и контраргументы и т. д., цель его будет достигнута.

Очерк двенадцатый Новые линии развития в физиологии и биологии активности*

Начиная примерно со второй четверти нашего века, физиология вступила в новую фазу или новый период своего развития, пришедший на смену «классическому» периоду, путь, пройденный физиологией за предшествующее столетие и достойный названия «классического», совершался под знаком стихийного материализма. Это мировоззрение руководило и прославившими свое время исследователями (их было слишком много, чтобы перечислить здесь даже самые крупные имена), и популяризаторами, на книгах которых воспитывались младшие поколения.

Стихийный материализм претерпел немало боев как с откровенными мракобесами фидеизма, так и с более тонкими и опасными противниками из виталистического лагеря. Эти бои способствовали тому, что материалистические воззрения на природу организма и совершающихся в нем процессов, на мозг и мышление получили закалку и стали мощным оружием идеологической борьбы против всевозможных полупознаний сторонников идеалистических взглядов.

Отечественная наука может по праву гордиться тем, что выдвинула блестящую плеяду физиологов мирового значения, авторов важнейших исследований по всем разделам физиологии.

И если наше время смогло открыть перед физиологической мыслью новые горизонты и перспективы, то только благодаря тому, что физиология обладала уже важнейшими

* Очерк был опубликован в книге: Философские вопросы высшей нервной деятельности. — М.: Наука, 1963.

отправными точками в сокровищнице достижений этих кофеев классического периода науки о жизнедеятельности.

Вся история положительного знания приводит к неоспоримому выводу, что неукоснительное развитие всех отраслей науки о природе от древнейших времен, от Фалеса и Пифагора, до наших дней обязано непрерывным прогрессом тому, что каждая очередная ступень развития науки находила в себе силы для беспощадного преодоления предыдущей.

Все исторические примеры, начиная с торжества гелиоцентрической системы и кончая той революцией, которую и начале нашего века пережила физика, говорят о том, что мы должны уметь соединять в себе преклонение и пиетет перед крупнейшими учеными предшествующей эпохи с безбоязненным отрицанием в их творениях того, что уже пережило свою фазу прогрессивности и может стать (как бывало не раз) тормозом для дальнейшего развития науки.

В естествознании, как и всюду, есть великие деятели, но нет и не может быть непрекращаемых авторитетов.

Преемственность развития и его непрерывность — не одно и то же. История каждой ветви естествознания знает периоды (иногда очень длительные) спокойного и непрерывного развития по установившемуся руслу. Но эти периоды непрерывности сменяются время от времени диалектическими скачками развития, полосами то более мягкой, то бурной революционной смены устоявшихся представлений и концепций, вроде той крутой ломки самых фундаментальных понятий физики, которая была начата трудами и открытиями Планка, Эйнштейна, Бора и их знаменитых современников. Эти фазы диалектического отрицания и антитезы не менее преемственны в смысле их исторической необходимости и обусловленности, нежели полосы спокойного и непрерывного развития, но они отражают назревшую по тем или иным причинам необходимость критического пересмотра отправных точек мышления, свойственных завершившемуся периоду данной науки.

Все великие заслуги физиологии классического периода не могут уже заслонить от нас того, что она — дочь своего времени — явилась в основном плодом механистического материализма. Несомненно, на нашей обязанности лежит и выяснение тех недостатков, имманентно присущих механистической методологии в естествознании, которые в полной мере отразились в воззрениях представителей классического периода физиологии, и постановка научной физиологии на прочные рельсы материалистической диалектики.

По-видимому, всем ходом исторического развития и возникновением новых производственных форм приходится в первую очередь объяснить зарождение как тех новых линий развития физиологии, которым посвящен настоящий очерк, так и тех весьма общих задач организации труда, которые привели после ряда стихийных попыток к рождению научной кибернетики. Если понимать кибернетику как общую науку об управлении сложными системами информации и связи (так именно она и будет пониматься во всем последующем изложении), то обнаружится, что очень большая и важная часть вопросов, вставших перед современной физиологией и направивших ее на новые пути развития, близко и тесно соприкасается с теми более общими теоретическими задачами, для разрешения которых и была предпринята разработка научной кибернетики.

Отсюда делается понятным то, что кибернетика нашла и продолжает находить для себя вдохновляющие примеры в новых открытиях и материалах физиологии и что физиология (главным образом наша отечественная) сумела сформулировать некоторые из наиболее важных кибернетических понятий раньше, чем появились на свет первые обобщающие труды зарубежных кибернетиков. Так или иначе обнаружившаяся близость и прямая связь между актуальными задачами физиологии и теми проблемами, над которыми работает кибернетика, приводят к тому, что последняя оказывается в настоящее время ценнейшим методическим орудием для физиологического исследования. Таким орудием при

правильном и умелом его использовании является и выработанный кибернетикой круг понятий и терминов, и побуждаемые ею к разработке новые ветви математики, и, наконец, те неисчерпаемо богатые технические ресурсы электроники, которые оказались возможным в разнообразнейших видах поставить на службу физиологическому исследованию.

Необходимо лишь еще раз подчеркнуть, что было бы грубо ошибочно рассматривать кибернетику как ввезенную на нашу почву определенную доктрину с теми или иными достоинствами и пороками (так у нас и пытались рассматривать эту науку первоначально). Это наука, которая может и должна быть поставлена на правильные методологические рельсы и которая способна принести неоценимую методическую пользу биологической науке вообще и физиологии в частности.

Последний, приблизительно полувековой период является временем глубоких и очень разносторонних сдвигов, продолжающихся и сейчас и касающихся как объектов исследования, так и всей теории и методологии физиологической науки. Прежде всего физиология классического периода была почти исключительно *физиологией животных* с постепенным типовым повышением их уровня по филогенетической лестнице (лягушка — голубь — кошка — собака — макак). В связи с этим она слабо соприкасалась с практикой. В последний период, наоборот, все более повышается удельный вес физиологии человека и возрастает количество точек ее практического приложения.

На место характерного для классики стремления изучать функции органов и систем в состояниях покоя (декапитация, наркоз, привязной станок) приходит исследование человека в условиях деятельности, возникают прикладные дисциплины (физиология труда, биомеханика, физиологическая профессиография и т. д.). Это перемещение интереса в сторону деятельных рабочих состояний особенно сказывается в повышении внимания к двигательным функциям —

1. разделу физиологии, бывшему, за минимальными исключениями, в полном забросе в течение классического периода.

Наряду с этими изменениями объекта исследования совершается глубокий, принципиальный пересмотр и переработка самых основных понятий предшествующего периода.

Главным знаменем и ведущим принципом классического периода являлась *рефлекторная дуга*. В полной мере были сформулированы положительные методологические черты этого принципа: возможность исчерпывающего материалистического детерминизма и ясность постановки основной задачи — нахождения закономерных входно-выходных взаимоотношений организма с окружением, формулирования точных функций, наконец, четкой трактовки организма как высокоорганизованной реактивной машины.

Характерный для механистического материализма атомизм, стойкая уверенность, что целое есть всегда сумма своих составных частей и ничто более, легко позволяли мириться со многими упрощающими построениями, уже не выдерживающими в наши дни натиска новых фактов и современной методологии. Принятие атомистических воззрений позволяло рассматривать целостный организм как совокупность клеток (см. концепции Биша или Вирхова), а его поведение и жизнедеятельность — как подобные же совокупности или цепи рефлексов. Воззрениям стихийных материалистов, недооценивавших решающе важный фактор целостности и системности организма и его функций, чуждо было понимание того, что *рефлекс — не элемент действия, а элементарное действие*, занимающее то или другое место в ранговом порядке сложности и значимости всех действий организма вообще.

Установленный к нашему времени всеобщий факт регуляции и контроля всех отправлений организма по принципу обратной связи заставляет признать необходимость замены понятия рефлекторной дуги, не замкнутой на периферии, понятием *рефлекторного кольца*¹ с непрерывным соучасту-

¹ Термин «рефлекторное кольцо» предложен, по-видимому, впервые автором (см.: Основы физиологии труда. — М.: Биомедгаз, 1934, — С. 447 и др.).

ющим потоком афферентной сигнализации контрольного или коррекционного значения. Судя по всему, даже в самых элементарных видах рефлекторных реакций организма имеет место кольцевое замыкание указанного типа, лишь ускользавшее от внимания вследствие краткости и элементарности этих реакций. Таким образом, приходится рассматривать рефлекторную дугу как первое приближение к фактической картине основного типа нервного процесса, приближение, прогрессивная роль которого (в свое время очень значительная) к настоящему времени уже сыграна.

Важнейшее принципиальное значение перехода от структурной схемы дуги к схеме кольца не ограничивается признанием огромного значения контрольно-коррекционной афферентации¹ в каждом случае упорядоченного реагирования. На месте атомизированной цепочки элементарных рефлексов, не связанных ничем, кроме последовательного порядка так называемого динамического стереотипа и поэтапной «санкционирующей» сигнализации, современное физиологическое воззрение ставит *непрерывный циклический процесс* взаимодействия с переменчивыми условиями внешней или внутренней среды, разветвляющейся и продолжающейся как целостный акт вплоть до его завершения по существу.

Эта концепция позволяет сблизить между собой две обширные группы физиологических процессов — эффекторные и рецепторные. В последних сейчас отчетливо прослеживается кольцевой тип связи между афферентными и афферентными нервными импульсами. Именно кольцевая связь объясняется неизменно активный характер протекания всех видов рецепций. Внешние органы чувств всех модальностей оснащены мускулатурой, как гладкой, так и поперечнополосатой, участвующей в настроенно-приспособительных изменениях в этих органах. Сам процесс восприятия протекает не как пассивное запечатление (вдобавок с подчеркиванием необходимости повторов для усиления

¹ Термин «обратная афферентация», предложенный П. К. Анохиным, малодушен, так как никакой «обратной» афферентации (нецентро-ремительного ишправления) вообще не существует.

Моторительного аффекта, как если бы здесь был применим Закон Тальбота), а как активный от начала до конца прогресс, о чем речь будет ниже.

Решающую важность кольцевой структуры процессов управления двигательными актами можно уже считать общеизвестной. Здесь следует упомянуть только о том, что весь характер работы рецепторов и сенсорных синтезов при выполнении ими контрольно-коррекционных функций в кольцевом процессе управления двигательными актами оказался, по современным данным, глубоко отличным от функционирования этих же рецепторов в сигнально-пусковой роли¹. С позицией незамкнутой рефлекторной дуги могла быть вымечена и принята в расчет только вторая из названных выше форм функционирования — восприятие безусловных или условных стимулов реагирования, что оставляло вне поля зрения глубоководные формы работы рецепторики как неотрывного участника кольцевых процессов взаимодействия с внешним миром.

Уже упоминалось выше о вирховианской клеточной модели и трактовке сложных смысловых двигательных актов как цепной постройке из элементарных кирпичиков-рефлексов. Но этот же принцип мозаичности использовался в рассматриваемом периоде еще гораздо более широко. Вслед за обнаружением в коре головного мозга первичных проекций сенсорных и сенсомоторных полей стала очевидной необходимость допустить рядом с этими проекциями, передающими мозгу всю текущую сенсорную информацию, области, в которые передаются и складываются впечатления для длительного хранения в памяти.

Эта необходимость привела к созданию очень детально разработанной принципиальной схемы работы мозга, названной *клеточным центризмом* (С. С. Корсаков, И. П. Павлов, В. М. Бехтерев и др.) В основе этой предположительной схемы лежали представления: а) о первоначально порожных клетках, каждая из которых в какие-то очередные моменты

¹ См. очерк 8-й.

жизни заполнялась микроэлементами информации, прибывающей от органов чувств; б) о проекции в эти клеточные поля сложных восприятий из внешнего мира да простейшим принципом поэлементного соотнесения множества элементов картины мира к множеству клеток, воспринимающих и хранящих эти элементы.

Эта концепция создавала возможность трактовать совокупность накопленного в течение жизни сенсорного опыта как коллекцию или совокупность запечатленных в клетках памяти элементов этого сенсорного опыта в их сигнальной роли (напомним, что это была единственная роль рецепторов, известная адептам рефлекторной дуги). Речевую систему, сложнейшую по своей структуре и глубококому своеобразию отношений между мыслью и словом, та же мозаичность вполне последовательно представляла как еще одну поэлементную коллекцию — словник, разнесенный по корковым клеткам того же типа, что и выше.

С этой интерпретацией речи (в частности, устной речи) как сигнальной системы связан, помимо основной методологической ошибки мозаицизма, еще один своеобразный недосмотр со стороны авторов этой системы. Генетически в развитии речевой функции имели место, по-видимому, два этапа: этап смысловых сигналов, звуковых или жестовых, и этап формирования знаковой системы как орудия отображения и осмысления мира.

Разновременность того и другого этапов в филогенезе лучше всего подтверждается, во-первых, многочисленными, быстро скапливающимися к настоящему времени фактами наличия СМЫСЛОВЫХ сигналов обоих видов (звуки и жесты) у ряда животных, как позвоночных (млекопитающие и птицы), так и насекомых (пчелы, кузнечики и др.), и, во-вторых, особенно ярко легкой дрессируемостью многих, и отнюдь не «высших», животных на фонематические кодовые сигналы, действующие в этом случае совершенно так же, как и иные условные стимулы (свет, звонок, чесалка и т. п.). То, что отличает речевую систему человека от указанной очень древ-

ней способности животных, состоит как раз в том, что поднимает ее над сигнальным уровнем на высшую качественную ступень, не снимая, конечно, и ее сигнальной функции, но отводя последней лишь частный и наименее значимый участок всей системы.

Высокоразвитая речевая система человека аналогична математической алгебре (может быть, это и создало возможность ее дальнейшей формализации до «логической алгебры» Буля и др.). Эта аналогия не бросается сразу в глаза, по-видимому, только вследствие нашей привычки пользоваться речью. Для математической алгебры характерно наличие условных знаков-символов (такими обычно служат буквы) и операторных символов, обозначающих функциональные отношения между первыми и те действия, которые надлежит над ними произвести.

Это же наблюдается и в структурной речи, свойственной человеку. Ее номинативные символы (имена, обозначения качеств, причастные формы и т. д.) представляют собой условные фонемы или графемы, обозначающие различные содержания в составе мыслительного процесса. Наряду с ними имеет место богатая лексика слов-операторов или этимологических характеристик, создающих между первыми смысловые функциональные отношения и превращающих речь — словник в речь — орудие познания мира и действия в нем.

Сами эти слова-операторы (не, под, ведь, или, для, разве и т. д.) и этимологические операторы (связки, суффиксы, падежные формы и пр.) ничего не отображают и не несут никакой предметной нагрузки совершенно аналогично тому, как в алгебре знаки «плюс», «минус», «радикал» и т. д. Но, может быть, на заре человеческого разума именно эти операторы — слова и мысли — явились величайшим открытием, во всяком случае безмерно более значительным, нежели создание слов-номинаторов, почему-то и до сих пор являющихся единственными представителями речи в словниках, с которыми оперируют адепты второй сигнальной системы.

Обрисованный выше недосмотр оказался жестоко отомщенным. В разработке принципов и устройств машинного перевода их авторам пришлось разрешать возникавшие задачи и трудности с первых же шагов почти на пустом месте, и теория второй сигнальной системы, имеющая за собой уже более 30 лет существования и разработки, так и не смогла прийти им на помощь. Не может быть сомнения в том, что верная действительности, подлинно физиологическая теория речи должна была бы, напротив, явиться основным фундаментом для создания и программирования машин-переводчиков.

Если не приходится сомневаться в том, что попытки физиологической интерпретации функций восприятия и речи как существенно-материальных мозговых процессов (попытки, облегченные при этом терпимостью к мозаичизму, подменяющему собой действительный синтез) были в течение всего классического периода прогрессивными, то к нашему времени необходим и неизбежен их критический пересмотр. Для нас уже очевидна методологическая порочность мозаичизма во всех его проявлениях и формах, а напор новых фактов и материалов вынуждает сейчас рассматривать обрисованный круг былых представлений и гипотез о структуре мозговых процессов как сыгравший уже свою роль первого приближения в такой же мере, как и принцип рефлекторной дуги. Более подробный анализ мозаичизма и разбор современных представлений о принципах мозгового проектирования дан мной в другой работе¹.

Теперь своевременно будет обратиться к краткому обзору новых линий развития физиологии.

Физиология человека в условиях трудовой деятельности успела испытать важные изменения в прямой связи с эволюцией самих производственных форм. По мере безостановочного снижения удельного веса грубо физического труда прикладная физиология, начав с энергетики труда, биомеханики, охраны и гигиены физического труда и т. п., стала интен-

сивно переключаться на задачи интеллектуализированного труда в комплексе человека и машины, задачи рационализации управления и связи, распределения функций и т. д. — именно те задачи, для разработки которых столь ценным оказалось привлечение на помощь методов и всего круга понятий кибернетики. Важнейшим разделом современной прикладной психофизиологии, бесспорно, является также изучение труда в условиях, требующих от человека наивысшего напряжения его внимания, находчивости, воли и т. д. (космонавтика, скоростное летание, верхолазные, кессонные, саперные работы и др.).

В области теоретической физиологии сейчас могут быть названы и заслуживают рассмотрения две возникшие в самое последнее время ветви. Одна из них — физиология регуляторной — была ровесницей и в известной мере родоначальницей кибернетики; вторая — физиология активности — возникает и оформляется на наших глазах. Обзор этих ветвей целесообразно начать с проблематики активности.

Чем более уяснялся принцип кольцевой регуляции жизненных процессов, тем в большей мере обнаруживалась и неотрывно связанная с ним активность. Не говоря уже о проявлениях и формах активности в самом прямом смысле — о двигательных функциях, активной форме и структуре всех без изъятия процессов рецепции и центральной переработки информации находятся сейчас вне сомнений. Наше время подтвердило полностью тезис И. М. Сеченова, что «мы слушаем, а не слышим, смотрим, а не только видим». Все главные виды наших периферических рецепторов оснащены, как уже указано, эфферентной иннервацией, на долю которой приходится как функции оптимальной настройки (в очень широком смысле), так и бесчисленные проявления поиска, наведения, прослеживания, гаптики и т. д. Сюда же относятся все виды и проявления «проверки через практику» как конкретных рецепций, так и всей наладки органов чувств, перекрестная проверка и синтезирование показаний разных рецепторов в порядке организации сенсорных синтезов. На-

¹ См. очерк 11-й.

конец, активны сами процессы отбора необходимых минимумов информации с отсеком излишних или избыточных «шумов».

Может быть, наиболее ярко выявилось глубокое значение активных форм функционирования в области центральных мозговых процессов, связанных с построением в мозгу упорядоченной и динамичной модели внешнего мира. В то время как воззрения клеточного центризма были неотделимы от представления о пассивном характере приема и запечатления поступающей в мозг сенсорной информации предназначенными для этого изначально порожними клетками, современная психофизиологическая мысль склоняется к пониманию познавательного процесса как активного моделирования, принципиально отличного от механистического соотношения «элемент к элементу». Активными являются и выбор принципа упорядочения воспринимаемых множеств, и внутренняя классификация выделяемых подмножеств, и управление гапстикой в самом широком смысле этого понятия, т. е. теми процессами активной рецепции, о которых было сказано выше.

Но корни принципа активности живых организмов уходят гораздо глубже, придавая ему черты важнейшего общепсихологического фактора. Уместно будет начать с двигательных функций.

Двигательные отправления - это основная группа процессов, где организм не только и не просто взаимодействует с окружающим миром, но и *активно воздействует* на него, изменяя его в нужном ему отношении. Из этого положения вытекает следующее.

Если проанализировать, на чем базируется формирование двигательных действий, то окажется, что каждый значимый акт представляет собой решение (или попытку решения) определенной задачи действия. Но задача действия, иными словами, результат, которого организм стремится достигнуть, есть нечто такое, что должно стать, но чего еще нет. Таким образом, задача действия есть закодированное так

или иначе в мозгу отображение или модель потребного будущего. Очевидно, жизненно полезное или значимое действие не может быть ни запрограммировано, ни осуществлено, если мозг не создал для этого направляющей предпосылки в виде названной сейчас *модели потребного будущего*.

Судя по всему, мы имеем перед собой два связанных процесса. Один из них есть вероятностное прогнозирование по воспринимаемой текущей ситуации, своего рода экстраполяция на некоторый отрезок времени вперед. Фактические материалы и наблюдения, указывающие на такие процессы, уже накапливаются нейробиологами и клиницистами¹.

Наряду же с этой вероятностной экстраполяцией хода окружающих событий (каким он был бы при условии «невмешательства») совершается процесс *программирования* действия, долженствующего привести к реализации потребного будущего, о модели которого было сказано выше. Такое программирование простого или цепного действия выглядит уже как своего рода *интерполяция* между наличной ситуацией и тем, какой она должна стать в интересах данного индивида. Не буду задерживаться здесь на том, что и программирование, и осуществление действия совершаются обычно в условиях «жизненного цейтнота» (т. е. внутреннего конфликта между срочностью и точностью прогностики), и на том вполне очевидном обстоятельстве, что фактическое осуществление действия обязательно протекает как борьба или активное преодоление изменчивых внешних препятствий, каковы бы они ни были (неподвластные внешние силы сопротивления, противодействие противника, неожиданности и т. п.).

В этой связи заслуживает внимания то, что признание реальности кодированной в мозгу модели или экстраполяция вероятного будущего и отображения в мозгу задач действия как формул потребного будущего создает возможность строгого ¹Группа так называемых ориентировочных реакций (конечно, не рефлексов!) представляет собой класс реакций на расхождение или рассогласование фактической рецепции с текущим вероятностным прогнозом и активной оценки значимости неожиданного сигнала.

материалистической трактовки таких понятий, как целенаправленность, целесообразность и т. п.

Действительно, в предшествующем периоде развития научной физиологии такие установленные к нашему времени факты, как кодированные отображения информационного материала, первичные или рекомбинированные мозгом, были совершенно неизвестны. Поэтому большинство таких понятий, как отвечающая потребностям организма задача или цель действия, т. е. код программы, направленный к оптимизации тех или иных условий существования организма и т. п., считалось неотъемлемой принадлежностью психологии, высокоразвитого сознания, обладающего возможностью формулирования для себя очередных задач и целей действия. Материалистическая платформа стояла, таким образом, перед альтернативой: либо допустить наличие психики и сознания у дождевого червя или дерева (это, разумеется, отвергалось как абсурд), либо считать, что ни одно из понятий обсуждаемой категории вообще неприменимо к преобладающему множеству организмов. Свободно чувствовал себя в этой области только идеалистический витализм, ничем не обоснованные гипотезы которого позволяли идти сколько угодно далеко в направлении финализма.

Именно обнаружение возможности построения и комбинирования организмом материальных кодов, отображающих все бесчисленные формы активности и экстраполяции предстоящего, начиная с тропизмов и кончая наиболее сложными формами направленного воздействия на окружение, позволяет нам теперь говорить о целенаправленности, целеустремленности и т. д. любого организма, начиная, может быть, уже с протистов, нисколько не рискуя соскользнуть к финализму. Накапливаемый сейчас фактический материал из области сравнительной физиологии говорит о таком не предполагавшемся прежде разнообразии материальных субстратов регулирующих кодов и самих форм и принципов кодирования, в котором осознаваемые и вербализованные

психические коды человеческого мозга занимают лишь место одной из частных, хотя и наиболее высокоразвитых форм.

К разбираемому здесь в самых критических чертах вопросу о моделировании будущего и программировании действия, направленного к оптимизации этого будущего, уместно будет присоединить два замечания.

Стоя на позициях монополии рефлекторной дуги и ограничивая круг своего внимания строго реактивными процессами, физиология классического периода могла путем очень небольшой схематизации рассматривать эффекторные процессы организма как строго (и в большинстве случаев однозначно) детерминированные сигналами, прибывающими по афферентной полудуге. Сейчас, когда факты вынуждают нас рассматривать все проявления взаимодействия организма с миром, а тем более активного воздействия на него, как циклические процессы, организованные по принципу рефлекторного кольца, оценка имеющихся здесь соотношений меняется по самому существу. В отличие от разомкнутой дуги кольцевой процесс одинаково легко может быть начат с любого пункта кольца. Это объединяет в один общий класс реактивные в старом смысле (т. е. начинающиеся с афферентного полукольца) и так называемые спонтанные (т. е. начинающиеся с эффекторного полукольца) процессы взаимодействия.

Как уже упомянуто, в ряде отношений именно последний подкласс включает в себя наиболее жизненно важные проявления активности. Существенно то, что во всех подобных случаях организм не просто реагирует на ситуацию или сигнально значимый элемент, а *сталкивается с ситуацией*, динамически переменчивой, а поэтому ставящей его перед необходимостью вероятностного прогноза, а затем выбора.

Еще точнее будет сказать, что реакцией организма и его верховных управляющих систем на ситуацию является не действие, а принятие решения о действии. Глубокая разница между тем и другим все яснее вырисовывается в современной физиологии активности.

Позволяя себе метафору, можно сказать, что организм все время ведет игру с окружающей его природой — игру, правила которой не определены, а ходы, «задуманные» противником, не известны. Эта особенность реально имеющихся отношений существенно отличает живой организм от реактивной машины любой степени точности и сложности. В дальнейшем мы будем отмечать, что реактивные механизмы играют немаловажную роль как технические компоненты приспособительной регуляции действий, но никогда — катерными определителями поведения.

Может быть, именно по этой причине нетрудно построить реактивную модель, способную осуществлять и формировать как безусловные, так и условные рефлексы (например, модели *Walter* и т. д.). Но создание модели, осуществляющей (или улучшающей) выбор оптимального поведения в условиях чисто вероятностной информации о «ходах противника», представляет трудности, которые кибернетика едва начала преодолевать.

Обрисованные сейчас новые представления о принципах активного поведения перекликаются, с одной стороны, с данными о физиологических механизмах автоматизации и деавтоматизации двигательных актов¹, с другой — с новыми математическими моделями иерархических координационных отношений, предложенными И. М. Гельфандом, В. С. Гурфинкелем и М. Л. Цетлиным². Есть много оснований считать, что вышеизложенный управляющий прибор центральной нервной системы не командует детально всем процессом движения данного сегмента периферического двигательного аппарата, а лишь определяет ту «матрицу» управ-

ления и корригирования, по которой подчиненный ему «центр» работает уже со значительной долей самостоятельности.

При этой ситуации, принципы которой хорошо известны из общей теории автоматического регулирования, на долю вышеизложенного «центра» приходится решение таких задач, как назначение определенного режима в самом широком смысле этого термина и контроль, переключение и адаптирование его к определяющим чертам ситуации и решаемой задаче. В аварийных случаях, когда низовой сегментарный «центр» подает в восходящую афферентную линию своего рода аларм-сигнал о непосильномTM для него справиться с создавшимся положением своими средствами в рамках доступных ему матричных вариантов, возглавляющий аппарат существенно перепрограммирует всю стратегию совершаемого действия.

По давно установленному общему правилу, от движений с многоуровневой иерархией управления и корригирования в поле сознания попадают только афферентные сигналы и вызываемые ими коррекционные команды самого верхнего, «ведущего» уровня данного движения. Постепенная передача координационных коррекций технического значения на управление нижеизложенных, подчиненных координационных уровней и соответствующих сенсорных синтезов, сопровождаемая уходом этих коррекций из поля сознания, есть давно и хорошо известное явление автоматизации.

И это явление, и противоположное ему явление деавтоматизации в результате тех или иных дезорганизирующих внешних или внутренних причин, оба до сих пор знакомые физиологам только по их описанию, находят теперь для себя модель в форме обрисованной выше иерархии из низового прибора, обладающего значительной автономностью в ведении «игры», и вышестоящего командного поста, руководящего им. С такой моделью, естественно, согласуется и то, что кольцевые процессы низового матричного управления так и не достигают высокостоящих уровней осознания именно потому, что им предоставлена большая степень самостоятельности.

¹ Бернштейн Н. А. О построении движений. — М.: Медгиз, 1947. — С. 183; Бернштейн И. Л. Очердные проблемы физиологии активности ² Пробл. кибернетики. — 1961. — Вып. 6. — С. 101.

² Гельфанд И. М. О тактиках управления сложными системами в связи с физиологией / И. М. Гельфанд, В. С. Гурфинкель, М. Л. Цетлин // Биологические аспекты кибернетики. — М., 1962. — С. 67; Варшавский В. Р. Обучение стохастических автоматов / В. И. Варшавский, И. П. Воронцова, М. Л. Цетлин // Биологические аспекты кибернетики. — М., 1912. — С. 192.

Этим низовым приборам, очевидно, доступно и принятие срочных тактических решений в ситуациях, не оставляющих времени на «запрос» верховных центров по соответствующему межуровневому координационному кольцу.

Ценность и прогрессивность замысла обсуждаемой модели не в догадке, что мерилом и «штрафом» для активности низового устройства является именно притекающая к нему афферентация (что для физиолога по меньшей мере спорно), а в формулировке самой модели, хорошо доступной для опытной проверки и существенно приближающей нас к уяснению координационных механизмов активного двигательного поведения организма.

Второе замечание, которое уместно здесь сделать, относится к вопросу о чисто физиологических, объективных проявлениях того «моделирования будущего», которое все более выявляется как необходимая предпосылка целенаправленной активности. Нужно сказать, что значительное количество наблюдений, относящихся еще к классическому периоду физиологии и принадлежащих, как тогда казалось, к очень разнovidным областям явлений, в настоящее время начинает складываться в единую стройную систему центральных управляющих процессов. Прежде всего в нее входят настроенные процессы возбудимости и синаптической проводимости, наблюдавшиеся еще Sherrington как центрально-возбудительные и центрально-тормозные спинальные состояния, которые ставились им в несомненную связь с реципрокной регуляцией мышц-антагонистов.

Принимая часть за целое, Lapicque видел в явлениях центрально регулируемого синхронизма и гетерохронизма нервно-мышечных пластинок своего рода предвещающий «перевод стрелок» для правильного избирательного заадресования эффекторных импульсов к мышцам.

А. А. Ухтомский и его продолжатели усматривали аналогичную установочно-регуляционную роль за нервными ритмами, их усвоением и настройкой. Наконец, в обширном круге явлений нервно-мышечного тонуса нельзя было не за-

метить проявлений своего рода предварительной, *опережающей настройки* мускулатуры.

С другой стороны, усовершенствование техники электромио- и электронейрографии все более расширяет круг экспериментов, вскрывающих перед нами нервно-мышечную динамику так называемой установки, которая снова есть не что иное, как усмотренные в новом аспекте и посредством иной техники все те же центрально управляемые процессы *преднастройки* нервно-мышечной периферии. Все указывает на то, что в каждом двигательном акте, протекающем в форме непрерывного кольцевого процесса, афферентная информация об этом акте мобилизует в то время центральные настроенные системы, функционирование которых как бы опережает фактическое выполнение каждой фазы движения на какой-то отрезок времени вперед.

В настоящее время биология пришла к понятиям организма, во многих отношениях глубоко отличным от формулировок классического периода, трактовавших организм как реактивно уравнивающуюся или саморегулирующуюся систему. Организм теперь рассматривается как организация, характеризуемая следующими двумя главными, определяющими свойствами.

Во-первых, это организация, сохраняющая свою системную тождественность сама с собой, несмотря на непрерывный поток как энергии, так и вещества субстрата, проходящих через нее. Несмотря на то, что ни один индивидуальный атом в организме не задерживается в составе его клеток дольше сравнительно краткого времени (за малыми исключениями, типа, например, костных кальцитов), организм остается сегодня тем же, чем был вчера, и его жизнедеятельность сегодня обуславливается всей его предшествующей жизнью.

Во-вторых, при всем этом организм на всех ступенях и этапах своего существования непрерывно направлен на изменение. Эта направленность онтогенетической эволюции

неоспоримо доказывается хотя бы тем, что тысяча представителей одного животного или растительного вида развивается в особи, одинаковых по всем своим основным или определяющим признакам, несмотря на иногда весьма резкую неодинаковость внешних условий жизни у разных индивидов. Что касается эмбриогенеза, то сегодня уже известны и носители наследственных признаков, и их химическая структура, и кодовый алфавит, при посредстве которых организм, уже начиная со стадии оплодотворенного яйца, обладает закодированной моделью будущего своего развития и оформления и закодированной же программой последовательных ступеней этого развития¹.

Отмеченная выше тождественность результатов морфогенетического развития на фоне изменчивых условий говорит о том, что организм активно преодолевает возможные и неизбежные внешние препятствия на пути программы своего морфогенеза. Экспериментальные факторы повреждений и частичных ампутиаций (например, почеч, конечностей) в эмбриогенезе - ампутиаций, не мешающих этим органам все-таки развиться в полноценную конечность, факты анатомических и даже функциональных регенераций, клинический материал — все эти данные говорят о том, что организм в целом и, весьма возможно, каждая его клетка активно борются за свое формирование, развитие и размножение. Процесс жизни есть не «уравновешивание с окружающей средой», как понимали мыслители периода классического механицизма, а преодоление этой среды, направленное на сохранение статуса или гомеостаза, движение в направлении родовой программы развития и самообеспечения.

¹ Совершенно универсальной определяющей чертой этого второго свойства организмов является то, что на каждом этапе и в каждый момент совершающегося развития и связанных с ним перестрочных скачков организм сохраняет во всей потребной мере жизне- и дееспособность, чего не может еще дать ни одна модель или машина.

² Такое уравновешивание обречало бы каждую особь на полную зависимость от среды и ее изменений, и о программном морфогенезе с удержанием стойких признаков вида нельзя было бы и думать.

Таким образом, то, что в частном случае двигательных функций животных организмов выглядит как моделирование потребного будущего в форме задачи действия и как реализация интерполированной программы этого действия в порядке преодоления внешних препятствий и активной битвы за результат, оказывается проявлением общего, глубоко проникающего в биологию *принципа активности*. Этот принцип проявляет себя как в процессах роста и развития животных и растений, так и в их борьбе за реализацию всего, что им потребно.

Здесь возникает один чрезвычайно интересный вопрос, объемлющий, по-видимому, всю область биологии. Он находится в тесной связи как с теоретическими принципами биологического моделирования, так и с описанными выше фактами направленной эволюции индивида.

Начну с ряда параллелей между внешне чрезвычайно разнородными группами процессов, чтобы сформулировать, в чем состоит их общность.

На дубе или клене имеется несколько тысяч листьев. Среди них заведомо не найдется и двух взаимоконгруэнтных: всевозможные метрические признаки их дают широкие вариационные ряды. И тем не менее мы можем сказать, что принадлежность каждого листа к дубу или клену не вызывает никаких сомнений по каким-то признакам, которые воле-неволея нужно назвать существенными.

Человек совершает повторные навыковые движения. Он, например, может на бумаге или крупно мелом на вертикальной доске писать (как показали опыты) с помощью ног или рта, и при этом мы не найдем и пары конгруэнтных начертаний. А между тем во всех этих случаях сохраняется все время индивидуальный почерк. Человеку беспрестанно выдается деньги из сберкассы по его подписи, хотя она наверняка конгруэнтна ни с кассовым образчиком, ни со своими потертостями. Хроноциклограммы всевозможных циклических навыковых движений подтверждают то же в отношении секторных отдельных циклов. Наше интуитивное восприя-

тие, не подкрепляемое точной формулировкой, создало такие аналогичные почерку понятия, как походка, туше (на фортепиано), тембр голоса, выговор или акцент речи и т. п.

Ко всем этим случаям применимо то же разграничение: существенное сходство (т. е. равенство) по одной части имеющих признаков при отсутствии конгруэнтности и размещаемости по другой, обычно метрической, части признаков в вариационные ряды. Сюда же принадлежит узнавание конфигураций, прежде всего букв, во всех размерах, шрифтах и т. д. (любопытно, что одинаково легко — белых на черном и черных на белом фоне), узнавание человека в лицо при шести степенях свободы проективных изменений его изображения на сетчатке, узнавание в данном экземпляре животного представителя того или иного вида или класса и т. д. Несколько последних примеров относится к тому, что психологи давно обозначили термином «обобщение». Но этим еще не объяснены не механизмы этого процесса (относящегося, несомненно, к категории процессов мозгового моделирования), ни, главное, те принципы, которыми руководствуется мозг при разбивке признаков объекта по обоим контрастирующим группам.

Представляются очень перспективными использование и дальнейшая разработка математической идеи, выдвинутой И. М. Гельфандом и М. Л. Цетлиным и заключающейся в приложении к разбираемым здесь вопросам класса функций большого количества переменных, обозначаемых авторами как «хорошо организованные функции». Функция хорошо организована, если, во-первых, можно разгруппировать ее аргументы на «существенные» и «несущественные» переменные и если, во-вторых, все аргументы стойко-сохраняют свою принадлежность к тому или другому подклассу. Авторы не дают строгого определения обоих классов, ограничиваясь выразительной характеристикой: несущественные переменные могут обуславливать резкие изменения и скачки функ-

ции, крутые градиенты значений и т. д. В то же время они, оправдывая данное им название, не оказывают определяющего действия на протекание функции в целом и на больших интервалах, на расположение экстремумов и т. д.

Влияние существенных переменных на небольших интервалах может в значительной степени маскироваться вмешательством сильно вариативного эффекта несущественных переменных, но в итоговом результате форма и протекание функции определяются прежде всего существенными переменными. По-видимому, принадлежность аргументов к тому или другому подклассу определяется не столько тем, какой конкретный физико-химический или иной процесс лежит в основе каждого из них, сколько самой формой функциональной связи с описываемой функцией, в которой находит с нею данный аргумент.

Чрезвычайно заманчиво обратиться к описанному классу функций, представив каждую сторону развития и жизнедеятельности живых организмов посредством такой функции многих переменных, где тот и другой их подкласс прямо накладываются на поведение соответственно существенных и несущественных признаков, как они были подразделены выше. Тогда, например, применительно к морфогенезу того или иного листа, цветка и т. п. можно будет сказать, что определяющие видовые, явно закодированные в хромосомах черты реализуются как продукт существенных (в смысле *Гельфанда — Цетлина*) переменных, а метрические признаки, дающие каждый вариационные ряды, — как результат влияния несущественных переменных. То же было бы уместно по отношению к координации движений, например к циклическим навыковым актам типа письма, о разгруппировке характеристик которых уже говорилось выше. То, что совершенно аналогичная организация определяющих переменных имеет место в актах восприятия, прежде всего в восприятии формы, а далее и во всевозможных актах обобщения, указывает на то, что и мозговому активному моде-

¹ Гельфанд И. М. О некоторых способах управления сложными системами / И. М. Гельфанд, М. Л. Цетлин // Успехи математических наук. — 1962. — Т. 17. — Вып. 1.

лированию в процессах восприятия и отражения мира свойственна опять-таки природа этих, замечательных функций.

Уже первые попытки приложения этих функций к изображению механизмов жизнедеятельности позволяют прибавить важные и перспективные черты к их имеющейся характеристике. Выше уже отмечалось, как по-разному относится организм к воздействию на него окружающей среды по линиям его существенных и несущественных переменных. По линии последних он реактивен и, так сказать, «уступчиво» приспособителен: один лист дерева получает больше питания, чем другой, и вырастает крупнее; он находится в лучших условиях освещения, в нем вырабатывается более высокая концентрация хлорофилла и т. п.

Но организм не уступает без применения к нему очень глубокого насилия каких-либо *существенных* свойств структуры и формы (вроде тех, которые, например, определяют диаграмму цветка). Не отступает он и от отрицательного геоцентризма, т. е. от борьбы при всех условиях за вертикальное направление ствола или стебля. Таким образом, можно сказать, что организм реактивен по отношению к своим несущественным переменным, но в высокой степени неактивен или активен по отношению к существенным.

Совершенно ту же картину дает структурный анализ двигательных актов и их координации. Как показали в свое время наши исследования, координационное управление каждым целостным смысловым двигательным актом строится, как уже упоминалось выше, по типу иерархической многоярусной системы колец управления и корригирования. Необходимость такой многоэтажности вызывается как весьма большим количеством степеней свободы у наших многозвенных органов движения, так и огромным числом мышечных единиц, активно участвующих в обеспечении позы и выполнении требуемого телодвижения.

К этому нужно еще добавить привходящие факты упругой растяжимости мышц и сложной реактивной динамики Органов движения и затем, конечно, всю совокупность тех

неподвластных, а поэтому и непредусмотримых внешних сил сопротивления, целесообразное преодоление которых и составляет самую сущность огромного большинства наших произвольных двигательных актов. В процессе координационного управления движением многочисленные виды и качества кольцевых коррекций распределяются между уровнями системами мозга, с одной стороны; сообразно составу и качествам присущих им сенсорных синтезов, с другой — явно по смысловому удельному весу и значимости тех или других коррекций для полноценной реализации программы движения.

Строгая стандартность формы и метрики циклических и навыков движений никогда не реализуется сама собой и никогда не бывает самоцелью¹. Ее приходится специально вырабатывать, и мозг идет на это только в тех случаях или в тех деталях или звеньях двигательного акта, где такая стандартность существенно необходима. Отсюда и получается та метрическая вариативность движений, о которой было уже сказано выше. Но с обсуждаемой здесь точки зрения обращает на себя внимание то, что «низовые» коррекции, т. е. коррекции чисто технического характера и второстепенного смыслового значения: 1) наблюдаются в тех деталях и сторонах движения, где имеет место наибольшая вариативность, 2) носят ясно выраженный реактивный характер.

Можно сказать, что аппарат управления движениями проявляет две различные координационные тактики: по отношению к второстепенным и техническим рассогласованиям и помехам он действует реактивно-приспособительно, не боясь вариативности, по отношению же к программно существенным сторонам управления бьется за требуемый результат во что бы то ни стало, активно преодолевая препятствия и, если нужно, перепрограммируясь на ходу.

Другого назревающего в настоящее время вопроса, также тесно связанного с областью «хорошо организованных»

¹ Бернштейн Я. А. О построении движений. Очердные проблемы физиологии активности // Пробл. кибернетики. — 1961. — Вып. 6. — С. 101—160.

функций Гельфанда — Цетлина, коснемся здесь лишь кратко. Это вопрос о взаимоотношениях биологических систем с понятием или классом дискретного числа. Те признаки, аргументы, коррекционные функции и т. д., которые принадлежат к разряду «несущественных», явно континуальны и образуют соответствующие этому вариационные ряды. А как обстоит дело с существенными переменными? В частности, допустимо ли поставить по отношению к наследственно передаваемым, закодированным в хромосомах чертам вопрос: до каких пределов «умеет» обсуждаемый аппарат считать?

Этот вопрос звучит в настоящее время в самых разнообразных работах. Судя, например, по анатомическим и сравнительно-анатомическим данным, такой уверенный «счет» продолжается примерно до двух в шестой степени (число зубов, позвонков, цитоархитектонических полей мозга, элементов боковой линии рыбы и т. д.). Безусловно нелегко, чтобы в генном аппарате было закодировано, например, число волос на голове или число клеток в коре головного мозга.

Принципиально наибольший интерес представляют, несомненно, пограничные области числового ряда. Цито- и миелоархитектонические поля коры мозга человека «исчислены» и стандартны. Но до каких пределов простирается эта исчисленность и с какого момента начинается рандомизация числа клеток и плана их синаптических взаимосвязей? Исчислены или рандомны количества гломерул в почке, лагсргансовых островков, пачиниевых телец, мышечных единиц в той или другой мышце? Как ведет себя аппарат наследственной передачи, когда дело доходит до чисел порядка сотен, т. е. где граница его информационной емкости?

С точки зрения обсуждаемой здесь темы важно следующее. Информоспособность генного аппарата, разумеется, не наложена на него как-либо извне, а выражает собой эволюционно определившуюся необходимость данного вида животного, растения, клетки и т. д. Поэтому анализ названных пограничных отношений в области перехода от необходимо-

го к случайному есть в то же время анализ того распределения между существенными и несущественными аргументами, который соответствует эволюционно определившейся потребности организма. В то же время это анализ того, где и как проводится организмом граница между активными и реактивными процессами, числом и множественностью (счетной или континуальной), наконец, между областями приложения теории хорошо организованных функций и теории случайных процессов.

В заключение нужно остановиться еще на одном принципиально важном вопросе.

С самого зарождения научной кибернетики, как только выяснилась близость между назревшими ключевыми проблемами физиологии и теми задачами, которые обусловили кыделение кибернетики в самостоятельную науку, началось взаимное оплодотворение обеих наук в отношении фактических данных и теоретических формулировок и обобщений. Весь период, протекший от публикации первого труда Wiener до наших дней, пронизан поиском и использованием аналогий между живыми и искусственными системами — аналогий, помогавшим физиологам в осмыслении системных взаимных отношений в организме, а техникам — дававших в руки новые и ценные идеи по построению автоматов.

Независимо от того, окончился или нет этот «медовый месяц» выявления и практического применения аналогий и сходств, в литературе самого последнего времени начинают все чаще проскальзывать и вопросы противоположного направления: существует ли все-таки принципиальная разница между живыми и неживыми системами и если существует, то где пролегает граница между теми и другими?

Разумеется, речь идет не о тривиальных различиях, вроде различий стройматериала или количественных различиях, делающих для современной техники немислимым подражание 15 млрд клеток головного мозга. В то же время неоспоримо, что искомое различие должно при всех условиях форму-

лироваться на основе строгого материалистического единства законов, которым в одинаковой степени подчинена как живая, так и неживая материя.

Становится чрезвычайно правдоподобным представление, что искомым водораздел или прямо заключается в общеприродном принципе активности, или, во всяком случае, включает этот принцип как важнейшую составную часть. Это суждение может подкрепляться тем, что как раз активные формы морфогенеза, развития индивидуального поведения, прогностики будущего и т. д. всего недоступнее для моделирования, хотя бы мысленного. Оно может подкрепляться также и той всеобщностью, с которой этот принцип направленной, преодолевающей активности проявляется во всех формах жизнедеятельности.

Однако, прежде чем решиться выдвинуть описанную концепцию биологической активности в качестве рабочей гипотезы, необходимо ответить, пусть даже пока в самых общих чертах, на вопрос, допустимо ли говорить о какой-либо глубокой специфике процессов жизни, не сходя со строго материалистических позиций и не соскальзывая при этом на рельсы одной из форм витализма, хотя бы и замаскированного.

Начиная с XVIII в., когда впервые твердо определил свои научные позиции воинствующий механистический материализм, перед естествознанием встала альтернатива, казавшаяся в ту пору (и в течение долгого времени позже) неизбежной. С одной стороны, контраст между проявлениями жизнедеятельности и теми процессами, которые тогда были известны в неживой природе, был настолько разителен, что было необходимо искать для него объяснений и обоснований. С другой же стороны, инвентарь знаний о глубинных физико-химических процессах, а тем более биофизических и биохимических закономерностях на молекулярном уровне был еще крайне скудным. Поэтому получалось так: те, кто отходил в лагерь идеализма и легко допускал идеи о всякого рода нематериальных факторах и сущностях, не находя в ба-

же физико-химических знаний ничего пригодного для объяснений специфики жизни, выдвигали для этого объяснения нематериальную жизненную силу, что их вполне устраивало. Последовательным же материалистам не оставалось ничего иного, как вообще отвергнуть всякие поиски Сущенной специфики, поскольку физика и химия того периода ничего не могли подсказать.

Это традиционное представление о неправомерности самой постановки вопроса относительно специфичности жизненных процессов в строго материальном плане и истолковании сохраняется и до нашего времени, когда выяснилось и Скопилось огромное количество новых сведений и фактов. Между тем эти новые факты позволяют рассматривать многие процессы (в первую очередь на клеточном и молекулярном уровнях) так, как немисливо было и думать в предшествующем столетии. Они же дают возможность поставить на Очередь вопрос о пересмотре традиционного взгляда. Ни рамки настоящего сообщения, ни компетенция автора не Позволяют предпринять сколько-нибудь подробное освещение вопроса, но следует хотя бы показать, о чем здесь может Ити речь.

Прежде всего в прошлом имелись только самые значительные сведения о ферментных процессах. Сейчас выясняются все более широкие границы для этих процессов. Выясняются роль ферментов в направляемом синтезе высокомолекулярных соединений и редупликации этих соединений, гигантское разнообразие и своеобразие хемоавтотрофных микроорганизмов, при участии которых интенсивно осуществляются процессы, которые в лабораторных условиях потребовали бы огромных температур и давлений, и т. д.

В прошедшем столетии не было ничего известно о стохастических процессах (если не считать кинетической теории газов и растворов). По линии второго закона термодинамики были известны и изучены такие явления в области микромасштабов, как флюктуации (*М. Смолуховский*), броунов-

ское движение (*Л. Эйнтхен*) и т. п. Однако все еще нельзя было ничего сказать об антиэнтропических процессах в открытых системах, условиях их протекания и управляемости, в то время как сейчас каждый год прибавляет в этом направлении новые факты.

О биологических кодах и их роли в структурировании и самоорганизации было уже сказано выше. Мы не будем продолжать этого перечисления. Его целью было лишь показать, что к нашему времени накоплены обширные системы новых фактов. Среди них исследовательская мысль без всякой опасности впасть в идеализм, лишь твердо памятуя о диалектическом принципе перехода количества в новые качества, несомненно, найдет точки опоры для того, чтобы применить вновь узнанные закономерности биохимии, биофизики и новых ветвей математики к безоговорочно материалистическому описанию специфических проявлений жизни.

Значительно легче отпаривать возражение о том, что, ставя на место рефлекторной дуги (где реакция закономерно отвечает на стимул) замкнутое рефлекторное кольцо, которое может начать функционировать с любого пункта своей блок-схемы, мы — сторонники физиологии активности — отходим от детерминизма и вместе с тем от той ясной материалистической трактовки явлений, которая обеспечивается рефлекторной теорией и признанием за рефлексом роли основного строительного элемента жизни и поведения.

Как уже отмечалось выше, «рефлекс по схеме дуги» — лишь приближенно описанный процесс, который самим накоплением фактов о регуляции и координации должен был претерпеть замену его схемы более точной и верной схемой кольцевого, непрерывного процесса. Далее выяснилось, что все рецепторные процессы протекают активно, начинаясь с отбора и поиска информации и сопровождаясь процессами настройки, прослеживания, галтики и т. д. Соответственно этому и процесс образования и закрепления условной связи между афферентными сигналами пришлось рассматривать

и как пассивное запечатление, требующее повторений для лучшего повторения связи, а как ряд активных процессов: 1) вычленения прививаемого условного стимула из всего афферентного потока извне; 2) установления мозгом животного апостериорной вероятности предъявляемого сочетания; 3) закрепления ассоциации в «долговременной памяти» мозга и т. д.

После всех этих неизбежных уточнений стало все более и более ясно, что рефлекс, т. е. детерминированная кольцевая реакция, вызванная воздействием раздражителя, бессонная, есть реально существующая и наблюдающаяся в разнообразнейших видах форма проявления жизнедеятельности. Но эта форма явно не единственная. Во всяком случае, она не оставляет возможности конструировать из рефлексов сложные формы активного поведения.

Конечно, форма поведения реактивного автомата более явно детерминистична, чем поведение организма, все время вынуждаемого к срочному активному выбору в стохастических условиях. Но освобождение организма от роли ре- активного автомата, существующего «на поводу» падающих на него раздражений, ни в какой мере не означает отхода от научного детерминизма в широком смысле в область непознаваемого, так же как переход от описания явления через однозначные функции к его описанию с помощью теории вероятностей не может означать ухода с позиций строгого естествознания.

Наука нашего времени накопила более чем достаточно фактов и знаний, чтобы безбоязненно приступить к созданию нового, углубленного представления вместо того первого приближения, которое оставили нам в наследство корифеи науки классического периода. Теперь необходимо, твердо и неукоснительно придерживаясь принципа единства мира и его законов, указать и изучить тот водораздел, который пока совершенно не переходим для технической или моделирующей мысли, но который в то же время совершенно четко отражает собой то, в чем заключается разница

между живыми и искусственными системами. Можно предполагать, что обсуждаемые здесь черты и свойства физиологии активности смогут вылиться в дальнейшем в ка-
 гист., ки ур-стм нную ст-ронуши тм «Б искомоТхаракт ?
 ристики. Это, во всяком случае облегчит путь технических
 изобретательских изысканий того, как приблизиться к Ге-
 скими Тж Z W а н н а б е - и м и и технич!

Биомеханика для инструкторов

Предисловие

Настоящий курс¹ составил из лекций, читанных мною в июле-августе 1925 года на курсах по переподготовке инструкторов производственного Москпрофобра. Он представляет собою переработку стенограмм подлинного курса, но переработку настолько основательную, что в ней не оставлено дословно почти ни одного отрывка. Живая речь перед аудиторией всегда резко отличается от тех форм, какие мы привыкли видеть в печати: она поневоле отрывочна, мимолетна, не всегда строго распланирована. Выражения интереса, недоумения, вопроса на лицах слушателей, которые невидимы для читающего стенограмму, постоянно влияют на лектора, заставляя его отклоняться, уточнять свои выражения и пояснять малопонятные места.

Тем не менее мне была дорога сама форма живой речи; я остаюсь при убеждении, что такое повествование возбуждает самостоятельность читателя и заставляет его активно следить за развертывающейся цепью мыслей. Я бережно сохранил все вопросы, примечания, даже ошибки моих слушателей, так как они естественны и обычны, и читатель, вероятно, не раз поставит себя самого на место моих собеседников по аудитории.

Только летом этого года мною был закончен первый том большого руководства по биомеханике под названием «Общая биомеханика», выходящий ныне в издании Р. И. О. ВЦСПС. Естественно, что многие отделы только что написанной книги должны были, хотя и в сильно измененном виде, войти и в читаемый курс, и в настоящую переработку его. Следует, однако, спросить, стоило ли при этих условиях издавать предлагаемый краткий курс и не пред-

¹ Бернштейн Я. А. Биомеханика для инструкторов. — М., 1926.

Ставляет ли он собою повторения того, что уже раз сказано в другом месте?

Нет, это отнюдь не повторение. Начать с того, что при всем моем старании сделать книгу «Общая биомеханика» доступной, она все же не легка для усвоения молодежи, владеющей познаниями в объеме курса 1-й ступени. Поскольку она является первым на русском языке руководством по этому предмету, она обязана быть обстоятельной, и потому я не мог уберечь ее ни от латинских названий, ни от математических выражений. То общее по содержанию, что есть в настоящем курсе с упомянутой книгой, есть сильно популяризированный и сокращенный пересказ, который, я думаю, может быть в этой форме доступен для любого профшкольца и фабзавучника.

Второе и главное оправдание этого курса в том, что он и по плану, и по содержанию не менее отличается от книги, Пежели по характеру изложения. Две лекции курса посвящены введению в методику изучения движений и краткой истории этого изучения, что никак не затронуто в «Общей биомеханике». Последняя лекция посвящена разбору одного из типичных трудовых движений — работы молотком, что опять-таки в популярном виде публикуется мною впервые.

Я не пытался придать настоящему курсу сугубо прикладного характера и сделать его чем-то вроде сборника рецептов. Он прикладной лишь постольку, поскольку пытается дать краткий систематический разбор человеческой машины и ее возможностей; его задача — приучить читателя мыслить по отношению кученику — фабзавучнику и профшкольцу — механически, так, как он мыслит по отношению к станку. Если эта задача хоть на малую долю выполнена, прикладная цель курса осуществлена.

Курс рассчитан на совсем мало подготовленного читателя. Самое большее, чего я могу от него потребовать, — это знания четырех правил арифметики и начатков механики и черчения. Может ли этот курс служить для самостоятельного

ознакомления с биомеханикой, покажет, конечно, будущее. Я рассчитываю на него пока, как на повторительное пособие для тех, кто в той или иной форме уже получил биомеханическое воспитание в кружке физкультуры, фабзавуче, на мода-лекциях и т. д. Поэтому курс и издается на *правах рукописи*.

Не могу не поблагодарить здесь тов. М. В. Пшеничникова, так горячо отнесшегося к идее и изданию курса итак много способствовавшего его осуществлению. Всех тех товарищей, которые прослушали этот курс в натуре, я очень прошу сообщать мне свои возражения, сомнения и вопросы.

Д-р Ник. Бернштейн
Москва, октябрь 1925 г.

Лекция 1-я

Товарищи! Биомеханика в точном переводе значит механика жизни. В сущности это есть наука о том, как построена жизнь. Мы считаем этот машинный механизм, как они работают. Знакомство с живой машиной необходимо для того, чтобы, путем умелого обращения с ней, добиться наилучшей и наиболее производительной работы. Мы понимаем, что законы механики повсюду одни и те же, касается ли дело паровоза, станка или человеческой машины. Значит, нам не придется выводить какие-то новые, особые механические законы. Мы должны только составить описание и характеристику живой машины так, как мы сделали бы это для автомобиля, ткацкого станка и т. п.

Разница между обоими видами описания заключается только в том, что человеческая машина гораздо сложнее и прихотливее, чем любая из когда-либо существовавших искусственных машин. Поэтому в наших знаниях по биомеханике гораздо больше пробелов, чем, например, в знаниях по строительной механике или по машиноведению. Здесь еще много темных мест, много такого, о чем можно говорить только приблизительно.

Другая разница состоит вот в чем. Каждый из вас может надеяться изобрести какую-либо новую искусственную машину или приспособление, затем взять на него патент и тотчас же превратить свою мысль в дело, т. е. построить свое Изобретение. К сожалению, усовершенствовать человеческую машину, подчинить ее конструкции своему произволу пока невозможно. Нам приходится принять ее к сведению, как она есть, со всеми ее достоинствами и недостатками. Нам предоставлены только косвенные обходные приемы, чтобы миновать ее недостатки и в полной мере использовать преимущества.

Не теряя времени, приступим же к разбору живой машины, ее устройства и способов ее использования.

Человеческое тело состоит из ряда звеньев, соединенных между собой шарнирами-сочленениями и способных вращаться одно относительно другого. Каждое такое звено мы можем на первое время считать твердым, не меняющим своей формы. Например, каждый из ваших пальцев состоит из трех звеньев. Опорой этим звеньям служат кости, но их подробное описание интересует нас очень мало. Для биомеханики гораздо важнее вопрос о том, как сочленены между собой звенья человеческой машины и какова их взаимная подвижность.

Скелет человека (рис. 1) состоит, круглым счетом, из 170 отдельных костей, которые все более или менее взаимно



Рис. 1. Костный скелет человека

подвижны. Однако рассматривать все имеющиеся между ними сочленения значило бы для нас зайти слишком далеко. Даже всего мы сильно упростим скелет человеческой машины, превратив его в то, что будем называть *сокращенной схемой* человеческого тела.

Мы будем в дальнейшем принимать все туловище вместе с шей за нечто целое и уже не будем обращать внимания на ичашную подвижность его частей, в действительности довольно значительную. Другим, таким же неизменяемым звеном мы будем считать голову, отлекаясь и от ее внутренней подвижности (движения нижней челюсти и т. д.). Конечно-сти мы будем делить каждую на три части. Тогда сокращенная схема получает следующий вид:



Сочленения между этими звеньями мы обозначим так:

- 1 — шейно-затылочное сочленение,
- 2 — плечевое сочленение,
- 3 — локтевое сочленение,
- 4 — лучезапястное сочленение,
- 5 — тазобедренное сочленение,
- 6 — коленное сочленение,
- 7 — голенистоопное сочленение

4

У вас должен возникнуть вопрос о том, по каким причинам человеческое тело получило вид именно такой схемы. Только ознакомившись с тем, как возник и развивался скелет позвоночных животных, можно отдать себе отчет в этих причинах. Ведь в создании человеческой машины не участвовал инженер, который мог бы представить нам проект ее конструкции и объяснительную записку с мотивировкой.

Начнем с туловища. Рассмотрев строение туловища рыбы или змеи, вы увидите, что оно представляет собою цепочку из отдельных члеников, сочлененных друг с другом. От каждого членика-позвонка в обе стороны отходят костные перекладки — ребра, связанные между собой упругими растяжками — мышцами. Это самая первоначальная схема строения позвоночного животного. Точно так же в начале своего развития построен человеческий зародыш. Опорным стержнем его тела первоначально служит гибкая палочка — спинная струна; впоследствии на ее месте развивается рыбешка костяных позвонков — позвоночный столб. Со всех сторон спинной струны возникают мышечные растяжки, который укрепляют спинную струну и в то же время обеспечивают ей гибкость.

Более новым добавлением к этой древнейшей системе являются *конечности*. У всех позвоночных животных: рыб, пресмыкающихся, птиц и млекопитающих конечности построены по одному основному плану; по существу они не изменились.

Основная схема конечности напоминает собою *кисть*; она присоединена к телу посредством одной кости; с этой костью сочленены целых две и т. д., пока к концу такая конечность не превратится в целую связку лучеобразно расположенных костей. Так построены, например, передние плавники рыб.

Совершенно сходно устроены конечности и у человека. Верхнее звено конечности (плечо, бедро) состоит из одной кости, следующее звено (предплечье, голень) из двух; дальше

соединяются в несколько рядов мелкие косточки и, наконец, конечные звенья (кисть, стопа) из пяти лучей — пальцев.

И с того времени, как конечности перестали выполнять обязанности плавников и приспособились к перемещению тела по суше, они претерпели ряд изменений. Самую первоначальную форму конечностей, приспособленных для ходьбы, находим мы у ящерицы (рис. 2 сверху). Все четыре конечности ящерицы расположены под прямым углом к позвоночному столбу, так что бедренные и плечевые кости лежат горизонтально, а голени и предплечья направлены вниз. При этом устройстве конечности еще мало работоспособны. Прежде всего, будучи раздвинуты далеко в стороны, они не могут поддерживать туловище животного на весу, и ящерица вынуждена влачить его по земле (пресмыкаться). Во-вторых, конечности ее не приспособлены к тому, чтобы качаться назад и вперед, как это необходимо для ходьбы. Для того, чтобы идти, ящерице приходится опираться на одну ногу и затем с помощью мышц всего туловища поворачиваться кругом этой ноги напоподобие циркуля. Легко понять, насколько это неэкономно.

Конечности млекопитающих претерпели, по сравнению с этой схемой, любопытные изменения. Представьте себе, что задние конечности повернулись на 90° вперед, передние на столько же назад, так что получилось расположение, изображенное на средней части рис. 2. И здесь верхний отрезок конечности состоит из одной кости, средний — из двух, самый нижний — из многих мелких косточек, но положение их относительно туловища уже иное.

Прежде всего вам ясно, что при новом расположении туловища уже значительно легче поддерживать на весу, так как подпорки приходится прямо под туловищем, а не далеко в стороны от него, как было раньше. При этом несколько подогнутые навстречу друг к другу соединенные сочленения служат своего рода рессорами: они могут складываться и смягчать толчки, направленные как спереди, так и сзади.

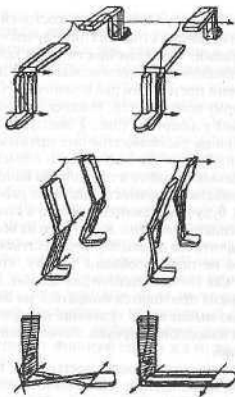


Рис. 2. Схема, изображающая конечности позвоночных.

Наверху конечности ящерицы, посредине — конечности четвероного млекопитающего. Внизу — механизм пронации и супинации (см. лекцию 3, по Spray)

Во-вторых, вы поймете, что теперь, когда оси всех сочленений конечностей повернулись в поперечном направлении, конечности могут уже беспрепятственно качаться вперед и назад, т. е. совершать как раз те движения, которые необходимы для ходьбы. Очевидно, ходьба может теперь совершаться проще и с меньшими усилиями, чем это было у пресмыкающихся.

Мы оставили с вами без внимания одно событие, которое неминуемо должно было сопровождать описанный сейчас поворот конечностей. Ведь передние конечности поверну-

лись под прямым углом *назад* — значит, их нижние звенья (кости) должны были бы оказаться обращенными тоже *назад*. Действительно, чтобы вернуть их в правильное положение — пальцами вперед — средним звеньям пришлось перекрутиться вокруг оси, так что их кости должны были скреститься наподобие буквы х. Такой поворот имеется у млекопитающих; у человека он возможен, но не постоянен: человек может совершать его по желанию. К этому движению мы еще вернемся.

Между строением тела человека и четвероногих млекопитающих нет существенной разницы, кроме некоторого изменения пропорций. Между тем человеку приходится стоять не вертикально и ходить на двух ногах, так что механические условия работы его тела совершенно иные, чем у четвероногих. Все строение человеческого скелета приспособлено, между тем, к условиям четвероногого образа жизни. В нем масса остатков, еще до сих пор не переделанных для двуногого существования. Многие детали человеческой машины, которые были бы совершенно понятны, если бы мы ходили на четырех ногах, оказываются совершенно неподходящими и прямо вредными при двуногом образе жизни. Достаточно будет упомянуть о строении женского таза; каждый из вас знает, насколько труднее, болезненнее и опаснее совершаются роды у человека, чем у четвероногих. Необходимость в акушерских больницах сильно зависит от того, что человек стал ходить вертикально, не переделав своих двигательных конструкций.

Перейдем теперь к строению сочленений.

Сочленяемые кости не соприкасаются непосредственно друг с другом; они выставлены в месте сочленения упругим сочленовным хрящом. Хрящи обеих костей очень точно пригнаны друг к другу: если одна кость имеет на конце головку, то вторая оканчивается впадиной как раз подходящего размера и формы. Все сочленение заключено в непроницаемую сумку, внутри которой, таким образом, получается маленькая полость. Сумка эта укрепляет сочленение и в то же время

служит для него смазочным аппаратом: внутренняя оболочка ее выделяет, капля за каплей, жидкость, постоянно смазывающую трущиеся поверхности хрящей.

Сочленений только что описанного вида в человеческом теле большинство. Это наиболее совершенная конструкция, но у человека попадаются и более грубые старинные формы. На рис. 3 изображен продольный распил трех позвонков. Вы видите, что их соединение осуществлено очень просто: между ними проложена гибкая хрящевая подушка, которая обеспечивает позвонкам небольшую взаимную подвижность. Между таким тугоподвижным хрящевым сращением и настоящим сочленением существуют всевозможные переходные формы, на которых мы останавливаться не будем.

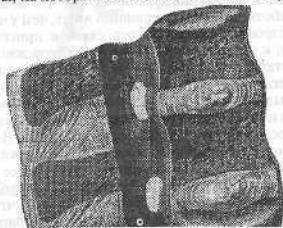


Рис. 3. Продольный распил трех позвонков.

Слев. - губ.; (тела позвонков, соединенные хрящевыми подушками; справа - остистые отростки позвонков, сращенные между собою связками. Посредине - канал для спинного мозга с отростками для входа и выхода нервов (по Шляпко-галу)

Важная разница между человеческими сочленениями и машинными соединениями заключается в способе закрепления соединенных частей. Машинные подшипники по большей части строятся так, что одна часть целиком охватывает другую, так что между ними получается жесткая связь. У человека таких охватывающих приспособлений нет, и потому

уврепляющая связь осуществляется иначе. Вы помните, что сочленение бывает заключено в непроницаемую сумку, та сумка состоит из довольно прочной сухожильной ткани, которая большей частью бывает еще укреплена вспомогательными связками. Таким образом сама сумка может уже обеспечить сочленению некоторую прочность. Но этого мало. Представьте себе, что мы попытаемся растянуть сочлененные кости в стороны друг от друга. Но так как сочлененная сумка непроницаема для воздуха, то у вас получится попытка увеличить размер сочлененной полости, не впуская в нее воздуха. Этому будет препятствовать воздушное давление. Раздвинуть сочлененные кости окажется так же трудно, как разнять два сложенные вместе полые полушария, из которых выкачан воздух. Сила воздушного давления в тазобедренном сочленении достигает полутора пудов, т. е. вдвое превышает вес всей нижней конечности. Ученые проделали такой опыт. Нижнюю конечность трупа совершенно освободили от мышц, заставляя ее висеть на одной только сочлененной сумке. К этой конечности подвешивали снизу еще груз. Конечность прочно держалась на своем месте; но достаточно было прорезать маленькое отверстие в сумке, как сейчас же в полость сочленения с шумом входил воздух, и сочлененные поверхности немедленно расходились.

Это еще не все. Сочленения окружены со всех сторон мышцами, которые сращены с обеими сочлененными костями. Мышцы со своей стороны обладают большой прочностью на растяжение. Притом они постоянно несколько натянуты и содействуют закреплению сочленения в еще большей мере, чем воздушное давление.

Перейдем теперь к тому, какова взаимная подвижность сочлененных костей и как определить эту подвижность. Предупреждаю вас, что это довольно сложный вопрос. Пусть кто-нибудь из товарищей выйдет сюда и покажет, как движется у него плечевое звено в плечевом сочленении. Вы видите, что он может поворачивать плечо вперед, назад и в стороны. Вы знаете, что стержень, который одним концом за-

креплен, а другим концом может свободно двигаться во всю сторону, будет постоянно двигаться этим концом по поверхности шара. По такой шаровой поверхности движется и нижний конец плечевого звена. Так как его подвижность не ограничена при этом какой-нибудь одной линией, а целой поверхностью, то мы говорим, что он имеет две степени подвижности. Но это еще не все. Я буду удерживать нижний конец плечевого звена нашего испытуемого неподвижно в каком-нибудь одном положении. Может ли он при этом еще как-нибудь двигать плечом?

Слушатели. Нет, не может.

Лектор. Так ли? Согните руку в локте под прямым углом. Можете ли вы двигать рукою так, как если бы предплечье было спицей, а плечо осью, поворачивающейся кругом самой себя?

Испытуемый. Могу.

Лектор. При этом нижний конец вашего плеча, который я удерживаю пальцами, не меняет своего положения в пространстве. Значит, плечо имеет всего целых три степени подвижности. Итак, мы говорим об одной степени подвижности, когда звено может двигаться только по одной линии; о двух степенях, когда его конец может двигаться по целой поверхности; и о трех степенях, когда звено может при этом поворачиваться еще вокруг своей продольной оси. Теперь попробуйте сами и скажите, сколько степеней подвижности имеет ваше локтевое сочленение?

Слушатели. Одну степень.

Лектор. Совершенно верно, это будет сгибание и разгибание локтя: ведь нижний конец предплечья может двигаться только по дуге круга. В человеческом теле есть сочленения и с двумя степенями подвижности, — таково; например, голеностопное сочленение. Держите голени неподвижно и попробуйте сделать всевозможные движения столой. Вы видите, что носок ноги может двигаться в разных направлениях по какой-то поверхности, но вращаться вокруг своей продольной оси стопа уже не в состоянии.

К Теперь поставим себе вопрос о том, какие формы должны иметь сочленовные окончания для того, чтобы давать различные степени подвижности. Начнем с одной степени подвижности.

Будет всего удобнее, если мы рассмотрим сначала ма-
йлинные соединения. Очевидно, простой цилиндрический подшипник имеет только одну степень подвижности. Действительно, если ось колеса соединена с помощью такого подшипника со станиной, то каждая точка колеса может двигаться только по одной-единственной линии — окружности. Значит, соединение цилиндрического типа будет обладать одной степенью подвижности. Однако, если бы наш цилиндр не имел закраин, то он мог бы смещаться еще и вдоль своей оси, т. е. обнаружил бы и вторую степень подвижности. Так ведут себя, например, шестерни автомобильной коробки скоростей. Если же цилиндр снабжен закраинами, то, очевидно, форма у этих закраин может быть какая угодно, лишь бы все тело в целом было круглым, представляло бы собой то, что называют *телом вращения*.

К телам вращения относятся, например, такие тела, как блок, катушка, круглый самовар, колонна и т. д. Все сочленения, в состав которых входят тела вращения, будут, следовательно, обладать одной степенью подвижности.

Рассмотрим для примера сочленения между плечевой и локтевой костями. Вы видите (рис. 4), что плечевая кость оканчивается внизу катушкой. На том конце локтевой кости, который сочленяется с плечом, имеется соответствующей формы выемка, ограниченная сверху и снизу двумя выступами кости. Если катушка и выемка точно пригнаны друг к другу, то они будут взаимно подвижны в одном направлении; значит, любое тело, плотно соединенное с катушкой, будет и само иметь только одну степень подвижности в рассматриваемом сочленении. Мы уже имели случай убедиться, что локтевое сочленение действительно относится к одно-
степенным соединениям: таково будет, например, соединение



Рис. 4. Локтевое сочленение правой руки, вскрытое спереди. Хорошо видны блок плече-локтевого и шарик плечелучевого сочленения. А — плечо, Б — локтевая, В — лучевая кость (по *Тальботу*)

между крейц-копфом и его направляющими в паровой машине, соединение между винтом и гайкой и т. д. Однако в живой машине эти типы одностепенных соединений не встречаются. Обратимся теперь к соединениям трехстепенным. После всего рассказанного вы легко поймете, что соединение с помощью так называемой шаровой головки имеет три степени подвижности. Все трехстепенные сочленения человеческой машины как раз и построены по типу шаровых соединений¹. На рис. 5 изображен разрез тазобедренного сочленения человека. Вы видите, что бедро вверх кончается правильной шаровой головкой и что эта головка плотно входит во впадину тазовой кости, имеющую форму полушария. Сделав проверку на самих себе, вы легко убедитесь, что бедро имеет относительно туловища три степени подвижности, точно так же, как и плечо.

В природе не существует таких поверхностей, которые могли бы дать две, и только две, степени подвижности друг относительно друга, оставаясь в то же время плотно прило-

¹ Трехстепенное межчелюстное сочленение много сложнее и не относится к шаровым.

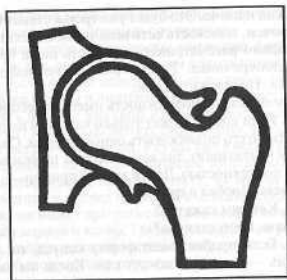


Рис. 5. Разрез шарового тазобедренного сочленения (по *Моллиеру*)

женными одна к другой)¹. Какую бы поверхность вы ни брали, она даст вам непременно или одну степень подвижности относительно другой подобной, или уже сразу целых три степени (или, может быть, ни одной, если одну поверхность никак нельзя сдвинуть с другой, не нарушив их соприкосновения).

Проверим себя на примере. Возьмем две соприкасающиеся плоскости, например вот этот диапозитив, положенный на стол. Сколько степеней подвижности имеет он относительно стола?

Слушатели. Две степени.

Лектор. Какие же две степени?

Слушатель. Он может двигаться по поверхности.

Лектор. Вы хотите сопоставить его движение с движением конца плечевой кости по шаровой поверхности? В этом вы совершенно правы, но ведь диапозитив может в каждой точке поверхности стола, куда вы его приведете благодаря двум степеням его подвижности, еще вращаться вокруг са-

Единственное исключение, как уже раньше было сказано, представляет собою цилиндр.

мого себя, как и плечо. Это будет уже третья степень подвижности. Впрочем, плоскость есть ведь только частный случай шара: ее можно рассматривать как часть шара бесконечно большого поперечника. Рассмотрим какие-нибудь другие поверхности. Предложите сами.

Слушатели. Какую подвижность имеет колесо на рельсе?

Лектор. Если колесо может только катиться по рельсу, но не скользить, то его подвижность одностепенна. Однако этот пример нам не подходит, так как колесо не прикасается к рельсу целой поверхностью. Дайте другой пример.

Слушатель. Пробка в графине?

Лектор. Как вам кажется?

Слушатель. Одну степень?

Лектор. Если пробка имеет форму конуса, то, конечно, одну степень — вращение вокруг оси. Когда вы вынимаете пробку из графина, вы сейчас же нарушаете ее соприкосновение с ним. А не найдете ли вы примера поверхности, не имеющей ни одной степени подвижности относительно другой подобной поверхности? Вас это затрудняет? Например, печатный стереотип и матрица, из которой он отливается. Можете ли вы, наложивши один на другую, сдвинуть их, не нарушая их соприкосновения? Очевидно, нет. В человеческом теле есть соединения костей как раз по этому типу, лишенные всякой подвижности. Таковы, например, соединения костей черепа между собою.

Вернемся однако к подвижным сочленениям живой машины. Я уже упоминал, что в ней встречаются двухстепенные сочленения, и притом не цилиндрического типа. Как же согласовать это с только что высказанным правилом о подвижности поверхностей?

Дело в том, что сочленовные поверхности человеческой машины несколько податливы и гибки. Поэтому они могут сохранять взаимное соприкосновение и тогда, когда они не вполне точно подходят друг к другу. Живая машина знает несколько типов сочленений, которые становятся возможны

(только благодаря хрящевой гибкости. Сюда относятся т. н. седловидные и яйцеобразные сочленения.

Вообразите себе поверхность, имеющую форму английского седла, т. е. выпуклую в одном направлении и вогнутую в другом. Если с этой поверхностью соприкасается другая, подобной же формы и лишенная всякой гибкости, то они не будут иметь вообще никакой взаимной подвижности. Если же они могут несколько менять свою форму, то подвижность будет как раз двухстепенной. Раз мы уже взяли в качестве одной поверхности седло, то в качестве второй возьмем всадника. Действительно, всадник может, не меняя положения ног, наклоняться вперед и назад и съезжать с седла в стороны, но уже не может вращать свое тело вокруг оси, т. е. поворачиваться вправо и влево. Таким седловидным устройством обладает, например, сочленение между запястьем и пястной костью большого пальца руки (рис. 6).

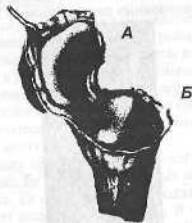


Рис. 6. Седловидное сочленение между костями А и Б, дающее две степени подвижности

Другой вид двухстепенного сочленения, также возможный только благодаря податливости хрящей, есть так называемое яйцевидное сочленение. Представьте себе впадину, вырезанную из боковой, более плоской части яичной скорлупы. Если вы вложите в такую впадину боком целое яйцо, то

оно также будет иметь в ней две степени подвижности: его можно будет несколько качать во все стороны, но нельзя будет вертеть во впадине вокруг вертикальной оси, напоподобие волчка. К такому типу принадлежит, например, сочленение между головой и первым шейным позвонком.

В человеческом теле есть сочленения, которые еще в большей мере пользуются гибкостью хрящей. На рис. 7 изображен продольный распил коленного сочленения. Вы видите, что поверхности обеих соединяющих здесь костей ни в какой мере не подходят друг к другу; начать с того, что обе они выпуклы. Для того, чтобы обеспечить широкое соприкосновение таких несходных поверхностей, между обеими костями (бедренной и большой берцовой) проложен третий промежуточный хрящ двояковогнутой формы. Благодаря ему сочленение в целом получает не то одну, не то две степени подвижности в зависимости от своего положения и от степени податливости сочленовных связок данного лица.



Рис. 7. Схематизированный продольный разрез коленного сочленения. Видна двояковогнутая хрящевая прокладка (по Мольеру).

Все, что говорилось до сих пор, относится только к способу или характеру подвижности соединенных частей. Здесь ничего еще не предрешено относительно того, в каких границах возможны движения в данном сочленении. Очевидно, что одностепенные и трехстепенные сочленения могут быть и широко подвижными и очень малоподвижными. Например, хрящевое сращение двух позвонков обладает, по крайней мере, тремя степенями подвижности, так как упругий хрящ одинаково податлив во всех возможных направлениях. Но по каждому из этих направлений позвонки подвижны очень мало: всего на $5-10^\circ$. С другой стороны локтевое сочленение с одной единственной степенью подвижности имеет очень широкие границы подвижности: 140° и выше. Мы еще рассмотрим впоследствии границы подвижности отдельных главных сочленений человеческого тела и способы описания этих границ.

Пока что мы пересмотрели с вами, какие формы сочленений вообще пушены в дело при конструкции живой машины. Мы познакомились с преysкурантом возможных сочленений. Как они в действительности размещены и как действуют, мы разберем в третьей лекции; а сейчас вкратце позначимся со строением и механическими свойствами *костей*, которые связываются этими сочленениями и представляют собою главную жесткую опору тела.

Кость обладает огромной и разносторонней механической прочностью. Ее крепость на разрыв мало отличается от крепости чугуна. Ее сопротивление раздавливанию или излому превышает сопротивление дуба. В общем прочность кости приближается к прочности латуни. В то же время костные сооружения чрезвычайно легки. Удельный вес кости немногим меньше двух. Чем же достигается такая крепость кости? Из какого же вещества она состоит?

Химический состав кости не сложен: она состоит в наибольшей части из разных известковых солей, главным образом из фосфорно-кислой извести. Это вещество знакомо

нам и из мертвой природы и не отличается никакой особой прочностью.

Ответить на наш вопрос можно только, если рассмотреть внутреннее строение кости. Прочность кости зависит не от того, что она построена из прочного вещества, а от того, что она умно построена. Если отшлифовать маленькую и тоненькую пластинку кости и изучать ее под микроскопом, то можно увидеть, что костное вещество состоит целиком из тончайших трубочек, пронизанных очень тонкими каналами. Просвет этих каналов так мал, что в него не прошел бы и волос. Весь секрет прочности кости заключается в строении стенок этих костных канальцев.

Стенка такого канальца состоит из ряда слоев, и каждый слой представляет собою сеточку из тончайших волоконцев, пропитанную известковыми солями. Если вы знакомы с железобетонными конструкциями, то увидите в строении стенок костных канальцев большое сходство с этими конструкциями. Волокнистые сеточки соответствуют арматуре железобетонных балок, а известковые соли соответствуют бетону. Вот за счет такого сочетания и достигается громадная прочность, которая примерно в пять раз превышает прочность железобетона. Такое строение кости из двух материалов можно доказать и не прибегая к микроскопу.

Если положить кость в раскаленную печь и прожечь ее, то органические волокна прогорят и останется только известковая часть кости, только ее «бетон». Такая прожженная кость окажется очень хрупкой и легко раздробляющейся в порошок. Можно сделать обратное: положить кость в слабый раствор кислоты, в котором растворятся все известковые соли; после такой процедуры кость делается мягкой, как тряпка: ее можно будет наматывать на палку.

Из таких составных элементов организм строит не сплошные колонны, а сложные решетчатые сооружения, напоминающие подъемные краны. Живая кость обладает одним замечательным свойством. Она развивается сильнее всего там и в тех направлениях, где на нее действуют наи-

большие силы, и вырождается в тех местах и направлениях, где силы не действуют. Поэтому получается, что кость есть своего рода самостроящийся автоматический мост. В ней постепенно исчезают, недоразвиваются все части, кроме тех, которые нужны для достижения наибольшей прочности при наибольшей же легкости.

Посмотрите на поперечный распил большой берцовой кости, изображенный на рис. 8. Вы видите, что кость эта

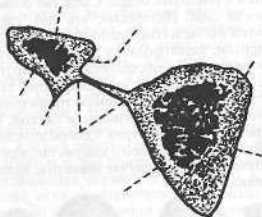


Рис. 8. Поперечный распил костей.

Слева — малая, справа — большая берцовая кость (по Шпальтегеду).

имеет внутри полость, окруженную толстой стенкой. Значит, вся кость в целом имеет строение трубки. Она построена точно так же, как трубы, из которых состоит велосипедная рама, и так же, как и последняя, соединяет прочность с экономией материала. Концы кости, в которых взаимоотношения механических воздействий разнообразнее и сложнее, обладают и более сложным строением. Они одеты с поверхности тонким сплошным слоем костного вещества, а внутри это костное вещество образует систему взаимно пересекающихся перегородок, нечто вроде мелких ячеек. Если кто-нибудь из вас имел дело со строительной механикой, то он слышал о так называемых траекториях напряжений, которые

определяют направления наибольших действующих сил. И оказывается, что костные перегородки концов кости располагаются как раз в направлении таких траекторий напряжений. Вычисления показали, что соответствие получается здесь очень близкое. На рис. 9 изображен продольный распил верхнего конца бедренной кости человека; рядом дано для сравнения расположение траекторий напряжений в верхнем конце подъемного крана, который подвергается усилиям, очень сходным с усилиями бедра. Сходство обоих рисунков говорит само за себя. Интересно, что там, где несколько смежных костей в общей совокупности подвергаются одним и тем же усилиям, перегородки в них представляют собою как бы непосредственное продолжение друг друга. Так происходит, например, в костях, составляющих стопу. Стопа есть свод, который опирается на землю тремя точками: основаниями большого пальца и мизинца, и пяткой. На эти своды сверху давит тяжесть всего тела. Сообразно с этим перегородки костей стопы расположены как раз так, как располагались бы в соответствующем случае элементы железной сводчатой постройки.

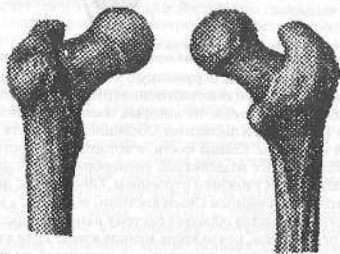


Рис. 9. Расположение костных перегородок в головке бедренной кости (справа), в сопоставлении с линиями напряжений в подъемном кране (слева)

Лекция 2-я

Товарищи! В прошлый раз мы с вами говорили о том, что служит вспомогательным аппаратом при движении: о рычагах-костях и шарнирах-суставах. Те и другие повинуются движению двигателей человеческой машины, они, так сказать, исполняют движение, но не вызывают его самостоятельно. Это пассивная часть. А деятельная часть человеческой машины — это *мышцы*, или мускулы. Относительно того, как работают мышцы, или мускулы, широкой публике известно очень мало. Но надо сказать, что и ученые не вполне еще разбираются в том, как работают мышцы. Поэтому сейчас придется несколько тщательнее расследовать, что такое мышцы, как они действуют, и что от них можно ожидать. Это расследование не раз пригодится вам, чтобы понять, как происходят движения человеческой машины. Каждый из вас видел мышцы, если не человеческие, то мышцы животных. То, что известно в просторечии под названием мяса, и есть мышцы. Если взять кусок супового мяса, хорошо вываренного, то мы увидим, что вся масса мускулов распадается на маленькие волоконца. Эти волоконца представляют собой главную и составную часть мышц как человека, так и животных. Но это еще не самая мелкая составная часть мышц. Если рассмотреть мышцы под микроскопом, то оказывается, что эти волоконца состоят из более маленьких волоконцев, более тонких, чем волоски, около 0,001 части миллиметра в поперечнике. Все мышцы состоят из продольно лежащих рядом друг с другом маленьких волоконцев. Эти волоконца соединены в маленькие пучки, тоже очень тонкие. Если перерезать мышцу поперек, то, как вы увидите уже простым глазом, они выглядят, как ячеистая постройка. Каждое тончайшее волоконец мышцы представляет собой первоначальный, *элементарный двигатель*.

Каждое волокно обладает способностью производить движение. Эта первичная машина, мышечный двигатель, построена, однако, очень своеобразно и не похожа на то, как построены искусственные двигатели. Каждая мышца представляет собой несколько сот тысяч, может быть, миллионов отдельных двигателей, которые все соединены параллельно друг с другом и все выполняют одну общую работу. Эти мельчайшие простейшие двигатели мышечного вещества можно рассматривать только под микроскопом. Вы видите, что это тонкое волокно все исчерчено поперечными полосками и выглядит, как трико. Довольно сложный опыт с мышцами, который я описывать не буду, показал, что только один вид этих полосок обладает способностью производить движение, а другие промежуточные полоски служат связкой для сократительных элементов. Так что в этом волокне только половина двигателей, а остальная половина скрепляет двигатели между собой. Волоконца в каждом пучке пригнаны так аккуратно, что эти полоски совпадают между собой с рядом лежащих волокон. Под микроскопом это сплошной полосатый пучок, почему мышцы скелета я называются поперечнополосатыми. А если такой пучок рассмотреть не сбоку, как я нарисовал, а с конца или в перспективе, то те же полоски будут выглядеть наподобие дисков. Представьте себе, что вы поставили столбиком поочередно медные копейки и серебряные двугривенные: вот так на самом деле выглядит строение мышечного пучка.

Как же работает эта постройка? Прежде всего, для того, чтобы понять работу мышцы так, как она происходит у человека, давайте посмотрим ее в «холодном состоянии», вне работы, точно так же, как если бы вы захотели изучить работу мотора, то вы первоначально познакомились бы с ним в стоячем виде; словом, ознакомились бы с его устройством вне работы, а потом уже пустили бы его в ход и посмотрели, что получается. Рассмотрим, что такое мышцы сами по себе и как они работают. Рис. 10 изображает две кости, между которыми натянута мышца. Вот, в сущности, форма, которая по-



Рис. 10. Действие мышцы на рычаг кости. Эта мышца (бицепс, или двуглавая мышца плеча) действует только на кости предплечья, так что сжимание кисти в кулак, изображенное на этом рисунке, есть воляность художника

вторяется во всех установках мышц человеческой машины. Но вырезать для опытов мышцу у человека невозможно. Для этого лучше всего взять животное, напр, лягушку. Если вырезать мышцу у лягушки и попробовать ее растянуть, то вы увидите, что она упруга, она сопротивляется, т. е. развивает некоторую силу. Мышца растягивается, как пружина. Если вы возьмете лягушечью мышцу и к ней подвесите гирьку, то она растянется, станет длиннее, а как только вы снимете гирьку, мышца примет снова прежнюю длину. Разница с обыкновенной пружинкой есть, и мы к ней еще подойдем. Чтобы представить себе мышцу-пружинку, возьмем для начала простую пружинку. Если подвесить на конец пружины груз, то он растянет пружину. Что это значит?

Вы знаете, что упругие тела, например пружина, обладают тем свойством, что они сами собой возвращаются к своему размеру, как только вы перестанете их растягивать. Для того, чтобы как-нибудь изменить их форму, для того, чтобы растянуть пружину или упругое тело, нужно приложить ка-

кую-нибудь силу, в данном случае гирию, и она силой своего веса растягивает пружину. Известно, что если для какого-нибудь движения нужно приложить силу, то это значит, что это движение требует работы. Вы знаете, вероятно, что если взять гирию и дать ей упасть на землю, то она, падая, производит работу, и эта работа измеряется произведением веса груза на ту высоту, на которую этот груз опустился. Работу измеряют килограммометрами. Вот поэтому мы с вами скажем, что если, например, к какой-нибудь пружине подвесить гирию в 1 кг, а гирия ее растянет на 1 м, то это значит, что гирия произвела работу в 1 кг.м. Для того, чтобы растянуть нашу пружину на данную величину, потребовалась работа и 1 кг.м. Куда же делась эта работа, куда она пошла? В природе ничего не пропадает.

Между тем гирия, опустившись, остановилась спокойно, перестала двигаться. Значит, работа куда-то исчезла. Где она находится?

Слушатель. Эта работа израсходовалась на растяжение пружины.

Лектор. Конечно, она израсходовалась на растяжение пружины. И если вы ее отпустите, она с силой сократится обратно. Все количество работы, значит, перешло в скрытую форму напряжения пружины. Чем пружина больше растянется, тем больший запас работы в ней скрыт. Возьмем другой вид пружины, который вам больше знаком. Скажем, пружину граммофонную. Если вы растянете эту пружину, вы создадите в ней напряжение, и эту работу почти что полностью вам пружина возвратит, когда начнет раскручиваться. Значит, основное свойство пружины таково: *ее можно зарядить работой, создавая в ней напряжение, и можно получить ту же работу обратно в любой момент, когда пружина опять раскрутится и ликвидирует свое напряжение.* Она возвращает ту работу, которую мы ей сообщили. Теперь, очевидно, что вы можете растянуть пружину, скажем, рукой или грузом и затем предоставить ей сокращаться обратно. Посмотрим, что же получается с мышцей той же лягушки.

Вот вы растянули мышцу, создали в ней какую-то силу (напряжения и зарядили ее работой). Эта сила напряжения в ней может быть ликвидирована, если вы ей предоставите возможность укоротиться обратно. Мышца сократится и возвратит часть работы. Теперь, почему часть? Вот почему, какую бы вы идеальную стальную пружину ни взяли, все равно она всей работы не может возвратит, потому что часть работы расходуется на внутреннее трение частиц. Как бы ни хороша была пружина, трение в ней всегда есть, и на это трение расходуется работа. Поэтому часть, может быть, 95 %, но не все 100 % вернется обратно. С мышцей дело обстоит хуже. Она не способна вернуть и 50 % всей работы; она расходует громадное количество этой работы на трение. Если вы ее растянете и потом предоставите ей возможность сократиться назад, то она вернет не всю работу, а только часть ее. Вам может прийти в голову, что если бы мышца была 50 см длины, а мы растянули ее еще на 8, то после этого она уже не смогла бы сократиться до прежних 50 см, а только до 51—52. Опять возьмем, в последний раз, ту же самую пружину, с которой дело происходит проще. Что будет, если вы к ней подвесите гирию? Эта гирия начнет ее растягивать? Совершенно правильно. Что значит растяжение? Попробуем разобрать это, и вы всю жизнь не забудете, что значит: гирия растягивает пружину. Гирия тянет пружину книзу с силой, равной ее весу. Давай — те писать в цифрах: пусть гирия весит 1 кг. Как подвесить гирию, чтоб она была в равновесии? Когда мы только подвесили гирию к пружине, последняя еще сопротивлялась не может: она ведь еще не растянута. Значит, гирия начинает падать вниз, куда тянет ее собственный вес, и со стороны пружины она никакого противодействия не встречает. Как только она начинает тянуть пружину книзу, то в этот же момент, благодаря начинающемуся растяжению, создается некоторое сопротивление, которое начинает тянуть гирию вверх. Гирия — нет книзу с силой в 1.000 г, но пружина начала действовать, например, с силой в 100 г. В результате получится равнодействующая этих двух сил: 1.000 вниз и 100 вверх, т. е. 900 г,

направленных книзу. Чтобы узнать, с какой силой гиря тянет пружину книзу, надо взять разность обеих сил. Вы знаете, что чем сильнее растянута пружина, тем больше у нее сила сопротивления, так что можно настолько сильно растянуть пружину, что получится какое угодно сопротивление. (Понятно, в пределах упругости пружины!) Вот мы общими усилиями растянем пружину, т. е. не мы сами, а опускающийся груз растянёт ее до такой степени, что сопротивление будет равно тем же самым 1.000 г, что и вес груза. Это значит, что обе силы уравниваются. Но значит ли это, что груз остановится на той же высоте? Ведь груз, опускаясь вниз под действием силы, опускается все скорее, потому что сила все время направлена книзу. Возрастающее сопротивление пружины уменьшает равнодействующую силу, но до мгновенного равновесия она все время направлена вниз, и силы, направленной вверх, гиря не встречает.

Что же из этого следует? Из этого следует, ни больше ни меньше, как то, что пружина и гиря к этому моменту будут обладать очень порядочной скоростью движения и на точке равновесия *не остановятся*. При этом гирия, ничем не затормаживаемая, перейдет через точку равновесия, — значит, она растянёт пружину еще сильнее. Опять груз гири все время будет равен 1.000 г вниз, но сопротивление будет теперь уже больше, чем 1.000 г. Теперь равнодействующая сила летит вверх и на этот раз будет тормозить груз. Точка равновесия есть точка, через которую груз пройдет с самой большой скоростью; книзу от нее он начнет замедлять свою скорость, потому что тормозит сила пружины. Груз пройдет еще такое же расстояние книзу от точки равновесия, какое он прошел до нее сверху. Вот что получится, если изобразить графически растяжение пружины грузом (рис. 11). Он пролетит через положение равновесия, и груз достигнет в два раза более низкого места. Но так как в том пункте, где груз наконец остановится, равновесия нет, то пружина начнет подтягивать груз обратно. Он вернется назад, но опять пролетит слишком быстро через положение равновесия. Словом, если

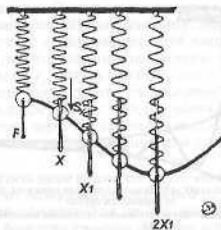


Рис. 11. Растяжение пружины грузом.

Белые стрелки, направленные вверх — напряжения пружины; стрелки, направленные вниз, — сила тяжести груза; черные стрелки — равнодействующая обеих сил. X — положение равновесия (равнодействующая равна нулю)

Пружина очень хороша (вы это, вероятно, наблюдали много десятков раз в вашей жизни), но она начнет просто качаться то вверх, то вниз. И наконец, очень медленно колебания «затухнут» на уровне равновесия. Пружина остановится только тогда, когда вся работа первоначального падения груза израсходуется на трение. До тех пор, пока она не израсходована, эта работа будет выражаться в движении груза взад и вперед. А теперь перейдем к нашим мышцам.

Разница будет в том, что в мышце силы трения очень велики. Теперь давайте на чертежике рис. 12 изобразим, что будет дальше с мышцей, проделает ли она такое же колебание, как пружина, или нет. Я возьму несколько колебаний, чтобы было ясно. Вот что будет проделывать пружина, когда мы на нее подвесим груз и пустим. Трение внутри мышцы очень велико, и мышца будет растягиваться от нашего груза медленно, ее трудно «раскачать». Но кроме того, оказывается, что ее качания затухают гораздо быстрее: одно или два колебания, и мышца остановилась, она уже поглотила всю работу того груза, который ее раскачал. После очень короткого

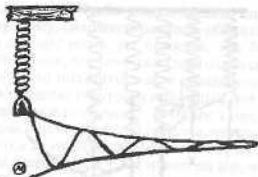


Рис. 12. Как выглядят затухающие колебания пружины, выведенной из равновесия грузом.

Совершенно сходно выглядят и затухающее колебание мышцы (рис. 13), только затухание там быстрее

промежутка мышца нашла точку равновесия, остановилась на своей новой длине и уравнивала груз.

Мы должны условиться вот о чем. Когда я говорю: мышца уравнивала такой-то груз, это значит, что мышца напряжена с силой, равной силе тяжести груза, подвешенного к ней. Сказать, что мышца уравнивала груз в 1 кг, это все равно, что сказать: в мышце имеется напряжение в 1 кг. Но мышца обладает одним замечательным свойством, которым ни одна из наших искусственных пружин не обладает. Это свойство заключается в особом способе заряжения мышцы работой. Для пружины или для мертвой мышцы у нас есть единственный способ, взять мышцу (вырезанную у лягушки) и растянуть ее. Но оказывается, что у мышцы, которая сидит на своем месте в живом организме, есть другой способ заряжаться работой; такой способ, при котором ее растягивать не нужно. Этот способ заряжает мышцу за счет *внутренних процессов*, без всяких видимых движений. Способ этот отличает живую мышцу от тех двигателей, которые нам известны. Его называют *возбуждением мышцы*. Если через мышцу пропустить электрический ток, даже один-единственный электрический разряд, то вдруг мышца подтянет груз вверх. Вы все знаете, что мышца сокращается, и ничего удивительного в этом нет, но механически это, оказывается, чрезвычайно

Удивительная вещь. Пусть мышца уравнивает 1 кг. Теперь, если мышца подтянула груз вверх, значит, равновесие Нарушилось, т. е. сила, направленная вверх, перевесила. Оказывается, мышца получила напряжение не в 1 кг, а больше, — скажем в 1/Д. Откуда она взяла эти 'Д кг? Непонятно. Откуда мышца взяла работу на добавочное напряжение? Итак, возбуждение мышцы, которое получается, например, если пропустить через мышцу электрический разряд, заряжает мышцу работой не механическим способом, а как-то (иначе).

Надо обратить ваше внимание на то, что мышца, которая (сокращается от возбуждения, например от электрического разряда, ведет себя точно так же, как это было с пружиной, обладающей большим трением. Мышца всегда и все время ведет себя, как пружина. Вся разница заключается единственно только в том, что эту живую мышцу можно заряжать И работой с помощью электрического процесса.

Живые мышцы человеческого организма заряжаются работой также при посредстве электрического толчка особого рода, но этот толчок передается через *нерв*. Как это происходит, поговорим позднее. При этом в мышце освобождается порция работы, но не от механического растяжения, а от сгорания некоторых частей мышечного вещества. Мышцу можно сравнить с двигателем внутреннего сгорания, скажем, с мотором Дизеля; и в ней происходит сгорание топлива с освобождением работы.

Разберем с этой точки зрения мышечное сокращение. Пусть у нас опять будет взята мышца, вынутая из лягушечьего организма. Давайте мы вырежем ее вместе с нервом и с кусочком спинного мозга; она не сразу погибнет, и можно будет произвести над ней опыт. Если к этой мышце подвесить маленький грузик и ее уравновесить, тогда тяжесть груза и напряжение мышцы будут равны между собой. Если вы пропустите электрический ток, то мышца сначала напряжется сильнее, оставаясь еще на мгновение той же длины, как и до возбуждения. В первое мгновение — одну или две сотых доли

секунды — укорочение будет незаметно. Затем в следующее мгновение мышца начнет делаться короче, потому что ее напряжение пересиливает вес груза. Заметьте, что напряжение мышцы растет вместе с весом груза. Чем больше груз, тем больше напряжение. Значит, *при сокращении мышцы есть два последовательных момента, два последовательных события: сначала происходит напряжение мышцы, потом начинается сокращение, которое связано с расслаблением мышцы.* Мы называем эти события так: фаза напряжения (без движения), а потом фаза сокращения (с расслаблением мышцы).

Вот этой маленькой подробности вы не знаете или она не приходила вам в голову. Мы так привыкли говорить о том, что мышцы напрягаются при движении, и никому не приходит в голову, что мышцы расслабляются, а не напрягаются во время работы. Когда мышце приходится двигаться, она расслабляется. Пока мышца напряжена, она не производит работы. Почему это происходит? Это будет ясно, если мы возьмем подобие между устройством мышцы и пружины. А теперь перейдем к описанию деятельности мышцы, ее сокращения. Надо точно знать работу двигателя, чтобы разобраться в более сложных вещах.

Как происходит сокращение мышцы? Прежде всего укажу вам следующее. Мы сказали, что мышца возбуждается и получает заряд работы, когда она подвергается действию электрического тока или (электрическому же) воздействию нервов, которые подходят от центра — мозга — к этой мышце. В чем состоит возбуждение мышцы, наука точно не знает. Важно, что электрические явления в мышце определенно доказаны. Доказано еще кое-что. Оказывается, если каким-нибудь способом произвести мышечное возбуждение, то ее электрический заряд в это время меняется. Если вы соедините мышцу с гальванометром, то увидите, что как только точка мышцы возбуждается, она получает отрицательный заряд. Важно знать, что здесь всегда есть какой-то внутренний ток, небольшой, всего около одной пятой вольта, не больше. Если вы вызовете возбуждение в какой-нибудь точке мыш-

цы, то оно сейчас же разбегается в обе стороны по всей мышце, со скоростью, примерно, в десять метров в секунду, т. е. со скоростью пассажирского поезда. Но зато обнаруживается, что в каждой данной точке мышцы возбуждение держится очень недолго, одно мгновение, а затем мышца опять возвращается в свое прежнее спокойное состояние. Долгое время удержать мышцу в состоянии возбуждения нам никаким способом не удастся. Мышца может возбуждаться на одно мгновение, как будто бы вздрогнет и после этого сейчас же успокаивается.

Если вы будете измерять с помощью гальванометра, что происходит в мышце во время возбуждения, и соедините с гальванометром какие-нибудь две точки мышцы, тогда у вас получится вот что. Пусть возбуждение началось в точке *A*. В этот момент точка *A* будет электроотрицательна, а другая точка *B* — положительна. Спустя несколько сотых долей секунды возбуждение успеет перебежать из точки *A* в другую точку *B*. Тогда получится, конечно, обратная вещь: точка *A* станет снова нейтральной, точка *B*, теперь возбужденная, окажется отрицательной. Ток получает обратное направление. Следовательно, гальванометр сначала качнется в одну сторону, потом в другую. Если суметь записать, что происходит в данной точке мышцы, то, очевидно, запись покажет сперва спокойное состояние мышцы, затем колебание тока в одну сторону, потом в другую, и все успокаивается. Вот это колебание тока в возбужденной мышце называется *током действия*. Оно всегда происходит, когда мышца возбуждается, и всегда чрезвычайно коротко.

Теперь вы мне зададите вопрос: как же так, мы можем показать на наших мышцах, что они работают в течение нескольких минут, а вы говорите, что они возбуждаются всего на одно мгновение? Правильно. Но происходит это, оказывается, совсем не так просто. Понятно, что если мышца получает такой короткий толчок возбуждения, какой, по моим словам, она только и может получить, то она не сможет сократиться длительно. Она может только вздрогнуть. Если вы пропустите

через мышцу или ее нерв электрический ток, то мышца делает вот что. Допустим, что мы подвесили к мышце гирьку, а к ней присоединили пишущее перышко. Ясно, что теперь, если эта гирька опустится или поднимется, то перышко подвинется вместе с ней. Теперь очевидно, что если около перышка будет вертеться барабан, обтянутый закопченной бумагой, а в это время мышца будет двигаться, то перышко запишет кривую, изображающую сокращение мышцы. На рис. 13 вы видите кривую вздрагивания мышцы. Пока она возбуждена, она может тянуть груз вверх. Но, как только возбуждение пропало, начавшая сокращаться мышца оказывается в положении, чрезмерно укороченном, и потому груз оттягивает ее опять вниз.

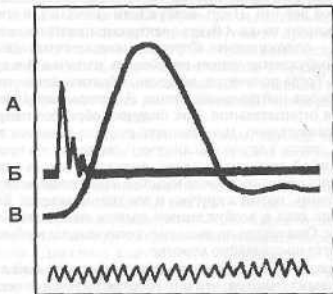


Рис. 13. А — кривая тока действия мышцы, Б — кривая вздрагивания мышцы, В — колебания камертона, отмечающего сотые доли секунды. Запись здесь фотографическая (по Юдину)

Как же заставить мышцу сокращаться длительно? Оказывается, что для этого нужно возбуждать мышцу не один раз, а много раз. Длительно, непрерывно мышца сокращаться не мо-

жет; она может сокращаться только толчками, и, если толчки очень часты (раз 50 в секунду), они сливаются друг с другом,

Теперь перейдем к более тщательному разбору того, что происходит с живой мышцей. Мы установили, что нет способа получить у мышцы более длительного возбуждения, чем несколько сотых долей секунды; и если мы ограничимся одним таким однократным возбуждением, то мышца вздрогнет, даст мгновенное вздрагивание. Видите, какая кривая, и затем ничего. Возбуждение мышцы зависит от того, что при этом быстро разлагается часть вещества самой мышцы. Это вещество, разлагаясь, освобождает часть своей энергии, которая превращается в механическую энергию напряжения

мышцы. Первый источник движущей силы мышцы — это химический процесс, своего рода сгорание внутри мышцы.

Итак, наступает фаза напряжения. Если мы сумеем точно записать сокращение мышцы на тот же самый вертящийся барабан, на котором записываем одновременно и ток, которым мы возбуждаем мышцу, и ток действия самой мышцы, то точно увидим, как друг за другом следуют последовательные фазы мышечного сокращения. Мы можем сделать так, чтобы ток, который мы пропустили в мышцу, отметил момент начала своего действия на барабане. Оказывается, что в тот момент, когда ток проходит через мышцу и в ней происходит возбуждение, мышца еще неподвижна. Чтобы сдвинуть с места какой-нибудь груз, нужна сила, которая должна продолжаться некоторое время. И вот, одну-две сотых доли секунды мышца стоит и затем только начинает двигаться. Однако, едва она пройдет очень малый путь, возбуждение мышцы уже кончается, но мышца не опускается, а продолжает двигаться, сперва укорачиваясь, потом снова удлиняясь, что продолжается 20—30 сотых долей секунды. За счет чего же она идет вверх? Ведь возбуждение уже прекратилось? Только за счет той инерции, того разгона груза, который она успела в первый момент получить. Она подпрыгивает еще немного вверх и возвращается обратно. Если мы на том же барабане (уже не закопченном, а оклеенном фотографической бума-

гой) запишем и ток действия мышцы, то получится еще нагляднее. Вы помните, что электрический ток, который протекает через мышцу взад и вперед, точно соответствует по времени возбуждению мышцы. Как только ток прекратился, кончилось и возбуждение мышцы. Так вот, если мы запишем колебание электрического тока, которое началось в тот момент, когда мы возбудили мышцу, то эти колебания будут выглядеть, приблизительно, таким образом (рис. 13). Вы видите это колебание тока взад и вперед. Из рисунка вытекает, что как раз возбуждение мышцы всего сильнее тогда, когда она еще не вздрогнула, не успела сдвинуться с места. Почему такое расхождение во времени, почему вздрагивание после возбуждения? Я думаю, это вам достаточно понятно из того, что мы говорили в начале лекции.

Теперь представьте себе, что в то мгновение, когда мышца уже отчасти подскочила кверху, мы возбуждаем ее второй раз. Произойдет вот что. Так как первое возбуждение кончилось очень скоро, мышца успевает подскочить сравнительно невысоко, и поэтому в этом новом положении, где ее застигнет второй электрический разряд, она будет сокращена немного. Значит, в этом новом положении свойства ее будут близко сходны со свойствами до начала первого возбуждения. Получится то, что мышца подскочит еще выше, причем на почти такую же высоту, начиная от того места, где ее застигло второе возбуждение. Кривая получит вид, изображенный на рис. 14. Теперь, если мы сообщим мышце третье возбуждение, то она подскочит еще выше. Если мы ей сообщим несколько таких толчков один вслед за другим, то окажется, что ее сокращение делается более высоким, гораздо выше того, какое получалось за счет первого возбуждения. Если мы будем непрерывно раз за разом возбуждать мышцу, то кривая получит вид зубчатой линии: мышца поднимет груз на некоторую высоту, на которой она будет некоторое время дрожать, и только после прекращения наших последовательных возбуждений возвратится назад. Если мы начнем возбуждать ее раз 50 в секунду, то она не успеет опуститься после

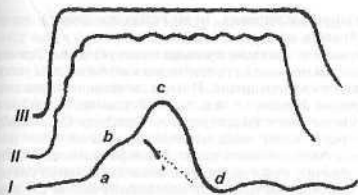


Рис. 14.1 - Сжатие двух последовательных одиночных сокращений.
I — сложение многих сокращений, следующих быстро одно за другим.
II — сложение многих сокращений, следующих быстро одно за другим.
III — тетаническое сокращение (по Lawdu)

Первого толчка, и кривая ее сокращения будет выглядеть уже гладкой; она станет давать такие незначительные колебания, что их нельзя будет рассмотреть на нашей записи. Следовательно, если вы мышцу раздражаете очень часто, то она длительно остается сокращенной, чуть-чуть подрагивая на достигнутой высоте.

Мы можем получить длительное сокращение мышцы только тогда, когда возбуждения следуют часто одно за другим. Если человеческая мышца испытывает 50 возбуждений в секунду, т. е. 3.000 в минуту, то она дает такое плавное сокращение. Можно сделать на себе такой простой опыт. Достаточно крепко сжать свои собственные челюсти, чтобы услышать низкий скрипящий звук около ушей. Этот звук есть не что иное, как звук мышцы, которая служит для стискивания челюстей и помещается в области виска, близко к ушам. Но как раз, когда будете стискивать челюсти, вы создадите длительное напряжение мышцы. Эта мышца то сокращается, то расслабляется и дает очень мелкое дрожание, на ощупь незаметное, а на слух похожее на скрип. Если напрягать сильно какую-нибудь мышцу руки, то можно заметить дрожание, которое происходит от длительного мышечного сокращения. Если приложить ухо к мышце, которая находится

в состоянии сокращения, то вы услышите низкий басовый звук. Это есть «мышечный тон».

Физиологи показали очень интересную вещь. Человеческая мышца никогда не прodelывает в естественных условиях одиночных сокращений. Иными словами, нервная система, которая посылает в мышцы возбуждение, способна посылать только десятки возбуждений в секунду. Одно возбуждение, один толчок наша нервная система не умеет посылать; она умеет посылать только такие ритмические возбуждения. Значит, наши мышцы по велению нервной системы могут сокращаться только по описанному сейчас сложному типу, который получается от слияния очень часто следующих возбуждений. Мы называем это *тетаническим сокращением мышц*, или *тетанусом*. Только такие тетанические сокращения может получать мышца через нервную систему.

Искусственно вы можете заставить человеческую мышцу прodelать и одиночное вздрагивание. Если через любую из наших мышц пропустить из индукционной катушки одиночный электрический удар, то мышца прodelает самое настоящее единственное вздрагивание. Но сами вы произвольнo можете получить только тетанус.

Теперь достаточно говорить о деятельности искусственно выделенной мышцы. Надо перейти к тому, как мышцы работают в условиях человеческого организма, разобрать, как они укреплены, как построены и как действуют. О строении мышечных волоконцев мы уже говорили. Теперь надо сказать, что мелкие мышечные волокна, подобранные параллельно друг с другом, погружены в довольно вязкую жидкость, которая сама по себе не принимает активного участия в движении мышцы, а служит как бы футляром для мышечных волокон. Общее строение мышцы вы можете себе представить так, что это есть пакет с тонкими волокнами, которые окружены внутримышечной жидкостью, конечно, тонким слоем. Каждый пучок волокон одет, кроме того, в тонкий чехол, который отделяет его от соседнего пучка. Множество таких пучков расположено рядом друг с другом с не-

большими промежутками между ними. Вся мышца в целом бывает одета футляром из такой же упругой ткани, только более прочным. Он также предохраняет ее и одевает со всех сторон. На концах мышцы, если взять ее всю целиком, поперечно исчерченные мышечные волокна исчезают и постепенно переходят в сухожильные волокна. Сухожильные волокна отличаются чрезвычайно большой прочностью. Сами они пассивны и участия в вызывании движения не принимают, но служат для прикрепления мышц к костям или тем органам, которыми она должна двигать. Сухожильные волокна тоньше, чем мышечные; поэтому и сухожилие в целом обычно тоньше, чем его мышца. Слово, «мышца», происходит от слова «мышь»; это именно от того, что она своим брюшком и тонким хвостиком напоминает мышонка. Как укрепляется мышца к тем органам, которыми ей приходится двигать, мы разберем уже в одной из следующих лекций; сейчас ограничимся только просмотром рисунков и вопросами о существе.

10

Лекция 3-я

Товарищи! Сегодня нам предстоит заняться разбором отдельных соединений человеческого тела и их подвижности. Мы будем все время ссылаться на то, что в первой лекции называли сокращенной схемой, но во многих случаях нам придется отвлекаться от такой упрощенной системы и рассматривать подвижность сочленений во всей их сложности. В особенности это понадобится нам, когда мы будем разбирать подвижность руки. Как вы увидите дальше, эта подвижность особенно разнообразна и сложна; а так как рука имеет громадную практическую роль во всякой работе, то ясно, что нам придется с особенной заботливостью изучить ее устройство.

Вы помните, что верхняя конечность присоединена к туловищу посредством двух костей — лопатки и ключицы — и большого количества мышц. Вся эта совокупность передаточных костей и мышц называется плечевым поясом. В следующих лекциях, когда мы будем говорить о мышечном оборудовании, мы разберем, каковы были причины, обусловившие именно такое устройство плечевого пояса; теперь пока примем его так, как он есть, и познакомимся с условиями его подвижности.

Плечевой пояс почти не имеет никакого костногокрепления. Одна из его костей, лопатка, вообще никак с туловищем некреплена. Она соединяется только с ключицей маленьким, подвижным и непрочным сочленением. Ключица, в свою очередь, соединена таким же непрочным сочленением с грудной костью, а последняя укреплена к позвоночнику опять-таки только косвенно, через посредство ребер. Таким образом плечо, которое стоит в сочленовой связи только с лопаткой, оказывается в необычайно дальнем родстве с опорным стержнем туловища. Такая отдаленная связь и обилие промежуточных сочленений обеспечивают плечу совер-

шенно исключительную подвижность. Что касается прочностиподвеса, то она достигается исключительно за счет мышц.

Прежде чем обращаться к подвижности плеча, расследуем движение той кости, на которой оно висит, т. е. лопатки. Лопатка плотно прижата мышцами к задней стенке грудной клетки и может двигаться, только прижимаясь к ней вплотную. Это значит, что ее подвижность относительно грудной клетки такова же, какова подвижность плоской пластинки на столе, т. е. имеет три степени. Лопатка может перемещаться вверх и вниз, к середине, и в сторону и, кроме того, еще поворачиваться вокруг самой себя.

Будем называть первый вид движений лопатки подъемним и опусканием, второй [™] приведением и отведением и третий — вращением лопатки. Все эти три вида движений лопатки вы можете удобно проследить на живом человеке. Правда, редко кто умеет по произволу производить все эти движения лопаткой, в особенности ее вращения. Так как один из углов лопатки (рис. 15) соединен с ключицей, а дру-

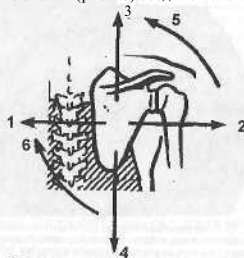


Рис. 15. Правая лопатка слепая и виды ее подвижности.
1 — приведение, 2 — отведение, 3 — поднятие, 4 — опускание, 5 — вращение
внутрь, 6 — вращение наружу

гой конед ключицы укреплен к грудной клетке почти неподвижно, то при всяком движении лопатки ключица будет поворачиваться в разных направлениях своим наружным концом. Вы можете наблюдать движения ключицы, если будете совершать движения областью плечевого сочленения, т. е. тем, что в просторечии называется плечом.

Подвижность лопатки довольно велика. Ее нижний конец может смещаться на 16 см и больше в сторону и на 10 см вверх и вниз.

Теперь познакомимся с самым подвижным из всех сочленений человеческого тела, соединяющим лопатку с плечом. Это сочленение обычно коротко называют плечевым. Как мы уже говорили раньше, это сочленение относится к трехстепенным. На рис. 16 вы видите, что оно относится к типу шаровых сочленений. Плечевая кость несет на верхнем конце головку в форме полушария, а лопатка имеет в своем верхне-наружном углу подходящей формы впадину. Вы видите на рис. 16, что впадина гораздо меньше, чем головка.



Рис. 16. Рентгеновский снимок плечевого сочленения.

Справа просвечивает плечевая кость с шаровидной головкой, слева — лопатка с ее впадиной. Наверху видна ключичная отросток лопатки (пР. Фигу)

Это значит, что плечо может совершать качания с очень большим размахом, и все еще лопаточной впадине хватит

места для соприкосновения с обширной шаровой головкой. Правда, зато уже о каких-нибудь закраинах или жестких крепках не может быть и речи. Больше того, очевидно, сумка сочленения должна быть очень податливой и широкой, чтобы дать дорогу большим размахам плечевой кости. Значит, укрепление сочленения поневоле слабое, и оно вывихивается легче всех других.

Разберемся как-нибудь в разнообразии движений плеча в этом сочленении. Заметим прежде всего, что обе лопатки поставлены несколько наискось друг к другу, так что плоскость каждой из них обращена вперед и внутрь. Сочленовная плоскость лопатки стоит под прямым углом к этой плоскости, т. е. обращена вперед и наружу. Если мы будем поворачивать плечо в этом последнем направлении, т. е. поднимать его вперед и наружу, то получившееся движение будет *разгибание* плеча. Противоположное этому движению, т. е. опускание плеча в той же плоскости, будет называться *сгибанием* плеча.

Я попрошу кого-либо из товарищей выйти сюда на кафедру и показать, как он производит разгибание и сгибание плеча в одном только плечевом сочленении, т. е. при неподвижной лопатке. Я попрошу также двух других товарищей наблюдать за его спиной и контролировать, неподвижна ли лопатка или нет.

Слушатели. Он двигает лопатками.

Лектор. Вы делаете не то, о чем я просил. Прodelайте разгибание плеча при неподвижной лопатке. Обратите внимание, что наш испытуемый не умеет этого сделать. Однако это не значит, что у него двигательный недостаток; этого не умеет, может быть, никто из вас. Между тем такое движение вполне возможно. На нашем примере вы видите, как грубо и несовершенно владеет человек движениями важнейших частей своего тела. Попробуйте теперь удерживать лопатку нашего испытуемого неподвижно за ее нижний угол. Определите теперь, до какой степени он может разгибать плечо, не двигая лопаткой. Вот он довел руку до горизонтального положения. Смотрите, когда он разгибает ее еще выше, лопатка

уже начинает поворачиваться, и ее уже нельзя удержать. Здесь виновато не его неумение обращаться с мышцами: он просто достиг границы подвижности своего плечевого сочленения. Если вы попытаетесь произвести движение плечом во всевозможных других направлениях, то окажется, что пределы ПОДВИЖНОСТИ плеча в каждом таком направлении составляют всего 100—110°; дальше уже начинает смещаться лопатка. Если бы вы закрепили лопатку совершенно неподвижно, а затем заставили бы плечо принять одно за другим все крайние пограничные положения, то конец плеча описал бы фигуру, похожую на круг (рис. 17). При неподвижной лопатке плечо может перемещать свой нижний конец в любую точку внутри этого круга, но выходить за его пределы оно уже не в состоянии. Этот круг как будто бы соединен неизменным образом с лопаткой, потому что границы подвижности плеча мы все время определяем относительно нее. Значит, для того, чтобы придать плечу какие-либо положение вне этого закодированного круга, надо передвинуть в пространстве самый круг. А это можно сделать, только повернув соответствующим образом лопатку (рис. 17). Теперь мы понима-

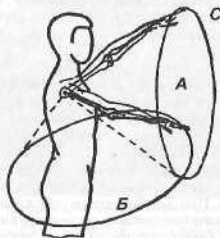


Рис. 17. Как влияют на границы подвижности плеча (Б) повороты лопатки (по Мюллеру)

ем, каким образом движение лопатки расширяет границы подвижности плеча. Какие движения лопатки расширяют границы разгибания и сгибания плеча? Не будем угадывать, а проверим лучше на живом примере. Заставьте испытуемого разгибать плечо и выясните, что происходит с лопаткой.

Слушатели. Лопатка поворачивается.

Лектор. При разгибании плеча она совершает поворот внутрь, при сгибании — наружу. Это и понятно: ведь разгибание и сгибание плеча совершается вокруг горизонтальной оси, направленной вперед и внутрь; значит, вспомогательными движениями лопатки будут те, которые совершаются вокруг оси, направленной точно так же. Вы видите, что с помощью лопатки плечо можно разогнуть градусов на 60 выше горизонтали.

Перейдем к другому виду движений плеча. При разгибании его конец двигался по вертикальным кругам. Теперь разберем движения его по горизонтальным кругам, т. е. повороты плеча вокруг вертикальной оси. Это движение мы называем *приведение и отведение* плеча, на какой бы высоте мы его ни производили. Определите теперь, какие движения лопатки помогают этому виду смещения плеча. Вы замечаете, что приведение плеча сопровождается отведением лопатки, а отведение плеча — приведением лопатки. И здесь участие лопатки расширяет подвижность плеча градусов на 30.

Мы разобрали и наименовали движения плеча вокруг двух взаимно перпендикулярных осей. Очевидно, существует еще третья ось, перпендикулярная к обеим первым. Движения вокруг этой оси будут направлены вперед-внутри и назад-наружу: как раз такое движение плечами делают зимово извозчики, когда им холодно. Этот третий вид назовем *антеверсией* (вперед-внутри) и *ретроверсией* (назад-наружу). Угадываете ли вы, что при этом должна делать лопатка?

Слушатели. Поворачиваться вокруг такой же оси.

Лектор. Это все так, но как же этой выйдет? Пригласим-ка кого-нибудь из художавых, не сильных товарищей.

Я ему сделаю ретроверсию плеча насильно. Что происходит с лопаткой?

Слушатели. Нижний угол ее отгибается.

Лектор. Да, и посмотрите — как далеко. Я могу свободно подпнуть под его лопатку три пальца. У мускулистых людей такому отгибанию лопатки помешают мышцы, и потому у них размах ретроверсии несколько меньше.

Итак, мы научились обозначать очень многие из движений плеча. Испытаем себя на нескольких примерах. Когда человек плавает «саженками», какое движение плечом он делает?

Слушатели. Приведение и отведение.

Лектор. Не совсем так. При замахе это движение близко к приведению, а при гребном движении это есть почти чистая ретроверсия. Второй хороший образчик ретроверсии — движения правого плеча при размашином ударе кувалдой. А каковы движения плеч при ходьбе?

Слушатели. Сгибание?

Лектор. Нет, ведь плечи при ходьбе движутся прямо взад и вперед: значит, это движение будет промежуточным между сгибанием и ретроверсией.

Так вот, мы изучили движения плеча относительно трех взаимно перпендикулярных осей. Из этих трех видов движений можно было бы составить, как промежуточные формы, все мыслимые для плеча движения в его трехосном сочленении. Рассказывать, как это сделать, было бы слишком долго; мы выделим лучше некоторые из промежуточных форм в особую группу и дадим ей еще особое название. Я говорю о поворотах плеча вокруг его продольной оси, которые мы будем называть ротацией плеча внутрь и наружу.

Общие границы подвижности, которые плечо получает, благодаря подвижности лопатки, очень велики. Каждый из вас может проверить их на самом себе; на рис. же 18 эти границы изображены чрезвычайно наглядным способом.

Перейдем теперь к нижележащим сочленениям руки. В первой лекции мы упоминали коротко о блоковидном со-

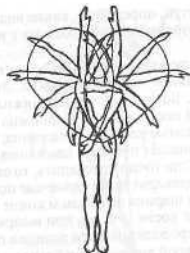


Рис. 18. Общие границы подвижности плеч (по Моллиеру)

членении между плечом и локтевой костью. Об этом одностепенном сочленении остается прибавить очень мало. Границы его подвижности составляют около 140° , и так как сильные мышцы и связки мешают размашистым движениям, то подвижность локтя у слабосильных людей, а также у детей и женщин больше, чем у сильных мужчин. У женщин и детей часто встречаются разгибания локтя дальше, чем до одной прямой линии с плечом (переразгибание локтя).

Гораздо любопытнее устройство сочленения плеча с другой костью предплечья — лучевой костью. На рис. 4 видно, что плечо несет на себе внизу, рядом с блоком, еще небольшой шарик. Верхний конец лучевой кости оканчивается как раз подходящей шаровой выемкой. Казалось бы, что при таком шаровом строении сочленения приходится ждать между лучевой костью и плечом трехстепенной подвижности. Действительность обманывает наши ожидания.

Лучевая кость кончается внизу около основания большого пальца руки; в этом месте просщупывается ее выступающий конец. Теперь последите за движениями лучевой кости при неподвижно закрепленном плече и, ориентируясь на

этот нижний выступ, определите, какие виды движений может выполнить лучевая кость и сколько у нее степеней подвижности.

Прежде всего лучевая кость вместе с локтевой может участвовать в сгибании и разгибании локтя. Это будет первый вид ее движений. Во-вторых, она подвижна еще и относительно к локтевой кости, вдоль которой она лежит. Поворачивайте кисть ладонью вверх и снова вниз; вы увидите, что лучевая кость обползает при этом движении свою соседку — локтевую кость. Если точно проследить, то окажется, что ось этого движения проходит по предплечью почти продольно: она направлена от шарика на нижнем конце плеча к нижнему концу локтевой кости. Эта ось при выпрямленном локте лежит как раз на продолжении оси ротации плеча.

Описанный второй вид движений луча называется *пронацией* и *супинацией*. Мы делаем движение супинации, когда ввинчиваем в стену винт; противоположное движение вывинчивания винта есть *пронация*.

Вот уже два вида движений. Есть ли еще третий вид? Таким новым видом должно бы быть отгибание луча в сторону с отхождением его нижнего конца от локтевой кости. Но он привязан в запястьи этим нижним концом; поэтому третьего предоставленного ему вида движений луч не использует: фактически его подвижность двухстепенна. Движение *пронации* и *супинации* при выпрямленной руке всегда сопровождается также ротацией плеча, так как ось обоих этих движений общая. Здесь происходит то же, что и в случае плеча и лопатки: опять человек не умеет разделять двух сходных движений. А вот при полусогнутом локте то и другое движение разделить очень легко: в самом деле, *пронация* при этих условиях выразится по-прежнему вращениями предплечья вокруг продольной оси, и ротация плеча заставит предплечье поворачиваться кругом него, как спица колеса. Всего яснее, может быть, движения предплечья вырисовываются из модели рис. 19. Из него следует, что луч мог бы и не быть сочлененным с плечом; ту же форму подвижности имел бы он,

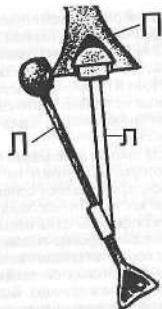


Рис. 19. Модель, изображающая способ укрепления лучевой кости (Л) к локтевой (л) и к плечу (П) (по Брансу)

если бы был сочленен с одной только локтевой костью одно-степенным сочленением. Лучевая кость есть в сущности далеко разросшийся назад отросток кисти: и у многих млекопитающих она и в самом деле не доходит до плечевой кости.

Кисть руки соединена исключительно с лучом. В основании кисти лежат в два ряда мелкие косточки неправильной формы — так наз. запястье. Между верхним из рядов и лучом, а также между обоими рядами находятся одно за другим два сочленения: *лучезапястное* и *межзапястное*. Первое из них — *яйцевидное* (две степени подвижности); форма второго совершенно нескладная, по которой о подвижности ничего предсказать нельзя. Опыт показывает, что оно тоже двух-степенно; поэтому мы подвижность обоих сочленений будем рассматривать заодно. Если я буду удерживать предплечье нашего испытуемого у его нижнего конца, то вы убедитесь, что кисть может только качаться по всем направлениям, но

не может совершать поворотов вокруг продольной оси. Проверьте на себе в свободное время, каковы границы подвижности вашей кисти в лучезапястном сочленении.

В самой кисти вместе с пальцами множество мелких сочленений (кисть состоит из 27 мелких костей), и разбираться в движении всех их нам не придется; это сделано подробно в моей книжке «Общая биомеханика». Здесь выделим коротко то, что нам важнее всего.

Соединения между кистью и пальцами (пястно-фаланговые сочленения), которые выступают на тыльной стороне кисти в виде бугорков, представляют собою опять шаровые сочленения. Пястные кости, которые лежат в мясистой части ладони и почти неподвижны одна относительно другой, имеют на дальних концах шаровые головки. Основные фаланги пальцев имеют соответствующие впадины. Между тем подвижность пястно-фаланговых сочленений только двухстепенна (как и между лучом и плечом). Вы можете активно, с помощью мышц, произвести сгибание-разгибание и приведение-отведение каждого пальца: правда, два последних движения в очень узких границах. Вращать палец вокруг продольной оси мы не умеем: у нас нет для этого подходящих навыков и подходящих мышц.

Пястно-фаланговое соединение большого пальца тоже шаровое, но совсем малоподвижное. Громадная подвижность большого пальца зависит от подвижности его пястной кости. Вы помните, что ее сочленение с запястьем имеет седловидную форму (рис. 6). Подвижность пястной кости большого пальца очень разносторонняя: именно благодаря ей большой палец может противопоставляться всем остальным. Этот маленький факт немаловажен для подвижности одной из косточек кисти имел, между тем, решающее значение для судеб всего человечества. Можно смело сказать, что благодаря этому устройству большого пальца, обуславливающему громадные разнообразия хватательных движений, человек впервые научился обращаться с орудиями и инструментами. Наряду с выпрямленной походкой, может быть, ни

один биомеханический факт не имел для человека такого решающего культурно-исторического значения.

На этом мы покончим с сочленениями руки. О возможных для руки движениях мы будем лучше говорить дальше в связи с рассказом о мышцах руки. Теперь перейдем к подвижности головы, шеи и туловища.

Несколько слов стоит, пожалуй, сказать о подвижности нижней челюсти. Она соединена с черепом целыми двумя сочленениями, которые находятся по сторонам черепа под скуловыми дугами. По форме этих сочленений не видно, какова подвижность нижней челюсти. Здесь надо пробовать. Опишите сами, как может двигаться ваша нижняя челюсть.

Слушатели. Можно открывать и закрывать рот.

Лектор. Это уже одна степень. Нет ли еще?

Слушатели. Вперед и назад.

Лектор. Есть. Еще одна степень. Все это или еще нет?

Слушатели. Все.

Лектор. Движения в стороны? Как видите, пара сочленений нижней челюсти дает настоящую трехстепенную подвижность. Вы можете наложить средние пальцы обеих рук на щеки, как раз у передних концев ушных мочек; в этом месте прощупываются сочленовые бугры нижней челюсти. Ощупайте на себе, что происходит с ними при движениях челюсти.

Интересный случай подвижности представляет собою голова. Ее подвижность очень велика, но зависит не от одного сочленения, а от нескольких, лежащих одно под другим цепочкой. Первое из них, соединяющее череп с первым шейным позвонком, относится к яйцевидным, следовательно, дает голове две степени подвижности относительно шеи. Так как его впадина расположена горизонтально, то голове доступны в нем качения около любой горизонтальной оси, т. е. наклоны вправо, влево, вперед и назад. Повороты головы в стороны осуществляются иначе. Первый шейный позвонок имеет вид кольца, которое положено на следующий нижележащий позвонок, снабженный торчащим сверху шипом.

Первый позвонок лежит на втором, как на подпятнике, и может вместе с опирающимся на него черепом поворачиваться кругом шипа как раз в направлении третьего недостающего черепа вращения. Значит, подвижность черепа относительно подпятника имеет уже все три степени. Подвижность позвонков между собой зависит от гибкости межпозвоночных хрящевых прокладок, о которых уже говорилось раньше. Но кроме прокладок между позвонками (вернее, между позвоночными дугами) имеются еще настоящие сочленения, которые повышают прочность связи между позвонками, но зато уменьшают их подвижность. В общем и у позвоночника удобно различать три типа движений: наклоны вперед и назад, наклоны в стороны и скручивание. Нормально позвоночник имеет несколько изгибов, сохраняющихся в покойном стоячем положении. Шейные и поясничные части позвоночника обращены выпуклостью вперед, а грудная часть — выпуклостью назад. Свойство подвижности позвоночника таково, что он легко увеличивает существующие в нем выпуклости, и очень неохотно распрямляет их. Поэтому при изгибании позвоночника назад искривляются шейная и поясничная части, а грудная почти не меняет своей формы; при сгибании вперед искривляется, наоборот, грудная часть, а шейная и поясничная почти не распрямляются. Подвижность позвоночного столба при наклонах в стороны и при кручении сильнее всего выражена в шейной части, а слабее всего в поясничной.

С позвоночником, в его грудной части, соединены 12 пар ребер. Рис. 20 дает понятие о строении позвоночно-реберного сочленения. Как видите, с каждым ребром сочленение двойное. Поэтому, конечно, какова бы ни была форма сочленовных поверхностей, ребру доступны только качания вокруг оси, проходящей через центры обоих сочленений. Каждое ребро связано с позвоночником с одной степенью подвижности. Оси сочленений расположены так, что передние концы верхних ребер могут двигаться вверх и вниз, а передние концы нижних, кроме того, раздвигаться в стороны.

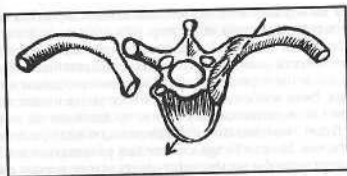


Рис. 20. Сочленения между позвоночником и ребром

Стрелка изображает ось, вокруг которой может качаться ребро (по Моллиеру). Это и происходит при вдыхании и, очевидно, содействует расширению грудной клетки. Передние концы всех ребер, кроме двух нижних пар, соединены хрящами между собою через посредство костяной перекладки — грудинной кости. Очевидно, что при дыхательных движениях эти реберные хрящи различным образом мнутся.

Теперь надо обратиться к сочленениям ноги, но этого нельзя сделать без некоторого предисловия. Дело в том, что кости, сочленения и мышцы исполняют не только двигательную роль, а в первую очередь опорную. Как раз в способе соединения пояса нижних конечностей (иначе называемого тазовым поясом) с туловищем это обстоятельство имеет первостепенное значение. Обратимся опять к нашим четвероногим предкам.

У четвероногих млекопитающих должность всех четырех конечностей состоит в том, чтобы служить подпорками позвоночному столбу, перекинутому между передними и задними конечностями наподобие моста. В первоначальном плане и та и другая пара конечностей прилажены к опорам этого моста одинаково: они устроены и тут и там, как козлы, между рогатками которых заклинен позвоночный столб. В тазовом поясе такое строение проявляется особенно четко: две поверхности, которыми тазовые кости сочленены с позвоночным столбом, обращены вверх и друг к другу и за-

жимают между собой позвонки, как замок свода. Таз четвероногого есть и в самом деле свод.

Разберитесь слегка в механике сводовых сооружений. В своде тяжесть давит сверху на его среднюю часть (замок свода), давление передается далее по обеим сторонам на опоры свода. Если вообразить, что на месте замка имеется шарнир и обе половинки свода жестки, то давление на шарнир сверху будет передаваться ножкам свода в виде раздвигающего усилия. Ножки будут стремиться раздаться в стороны. Для того, чтобы воспрепятствовать этому, ножки сводов строительных сооружений прочно врываются в землю. Разумеется, у животного, даже когда оно стоит как «вкопанное», ноги все-таки нигде не вкопаны, и надо укрепить их иначе. Укрепление достигается тем, что между ножками тазового свода, как раз под замком, помещается прочная сухожильная растяжка.

Плечевой пояс оборудован по-другому. Он не может же непосредственно заклинить позвоночный столб, так как этому мешает каркас грудной клетки, втискивающийся между передними конечностями. Если представить себе, что передние и задние конечности имеют одинаковую длину, то окажется, что позвоночник — место укрепления задних конечностей — лежит выше, чем их верхушки; наоборот, грудная кость, к которой в конечном счете приходится прикрепляться передним конечностям, лежит ниже их верхних концов. Поэтому в то время, как задние конечности поддерживают позвоночник по типу арочного моста, передним приходится поддерживать грудную клетку по типу висячего сооружения. Потому-то между передними конечностями и туловищем и нет прямой жесткой связи. Их связь, как и подбавает подвесному сооружению, исключительно мягкая и осуществляется мышцами и связками. О ней мы и будем говорить в следующих лекциях, когда дойдем до мыши.

Видите, как целесообразно приспособлен был таз для своей опорной задачи у четвероногих млекопитающих. У человека с его выпрямленной походкой вся эта структурная

рассчитанность в сильнейшей степени пошла на смарку. Действительно, свод или арка выполняют свою задачу только при том условии, когда нагрузка арки, точки ее опоры, и нижняя растяжка лежат одни под другими. Теперь вообразите, что четвероногое стало на две задние ноги и повернуло корпус вместе с тазом на 90°, так что арка оказалась лежащей плашмя. Ясно, что в этом положении она не может отвечать своему назначению; ее пришлось поворачивать обратно.

И вот начинается ряд косвенных обходных попыток починить нарушенную целесообразность тазового пояса. Переустройство таза у человека сравнительно с четвероногими млекопитающими производит такое впечатление, какое произвела бы постройка, подвергающаяся поспешному лишенному плана и расчета ремонту. Во-первых, позвоночник в поясничной части круто выгибается вперед; вернее сказать, таз вместе с крестцовой частью позвоночника круто отклоняется назад, стремясь занять свое прежнее положение арки. На рис. 1 первой лекции виден получившийся при этом громадный горб позвоночника, выливающийся внутрь таза. Нечего и говорить, сколько затруднений принес этот неудачный ремонт для механизма родов. Череп у ребенка человека больше, чем у четвероногих, а проход для него получился искривленный и тесный.

Но и этим поворотом таза положение еще не исправилось окончательно. Растяжка таза так и не смогла оказаться под местом наибольшего давления. Тогда соответственно этой оказавшейся впереди растяжке сильнее развились еще растяжки сзади между тазом и крестцом. Эти растяжки убили подвижность крестца и этим внесли новую помеху для родового акта. В результате всех этих неудач таз человека представляет собой, как сооружение, нечто довольно сложное, и ближе на его статических свойствах мы останавливаться не будем. Мне важно было дать вам понятие о механике развития тазового пояса в том виде, в каком он представлен у человека.

По обеим сторонам человеческого таза лежит по сочленовно-вой впадине для бедер. Я уже говорил, что тазобедренное

сочленение относится к шаровым (рис. 5), и потому по вопросу о его подвижности нам пришлось бы повторять многое из того, что мы уже говорили о сочленении плечевом. Разница между обоими главным образом в том, что подвижность тазобедренного сочленения значительно меньше. Причин для этого две.

Во-первых, лопаточная площадка плечевого сочленения очень мала, и потому плечевая головка может скользить по ней в очень широких границах, не встречая закраин. Тазовая впадина тазобедренного сочленения охватывает больше, чем целое полушарие. Единственный раз в анатомии человеческих суставов здесь головка сочленяемой (бедренной) кости вправду захвачена жестко. Широкая головка бедра покрыта хрящом, примерно на три четверти полного шара; значит, для ее подвижности остается свободной только четверть шара, т. е. 45° в каждую сторону или всего для каждого направления движения 90° .

Вторая причина та, что движениям плеча помогает собственными движениями весь плечевой пояс: и лопатка и ключица. Таз человека совершенно лишен всякой внутренней подвижности; бедро может пользоваться только теми границами подвижности, которые дает ему тазобедренное сочленение.

Поле подвижности бедра расположено так, что бедро может порядочно смещаться вперед и наружу и очень мало — назад и внутрь. Так как границы подвижности в сильной степени определяются податливостью сумочной связки, которая при крайних положениях натягивается, то получается, что в стоячем положении, когда бедро находится близ задней границы своей подвижности, сумочная связка тазобедренного сочленения довольно сильно натянута. Такое натяжение оказывается полезной вещью. Центры тазобедренных сочленений приходится несколько впереди от того места, где туловище опирается на таз. Следовательно, туловище в силу тяжести стремится завалиться назад. Вот этому-то опрокидыванию и препятствует натяжение связки. На рис. 21 изоб-

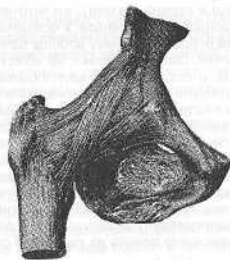


Рис. 21. Правое тазобедренное сочленение сверху, очищенное от всех облегающих его мышц, чтобы можно было видеть связку, закрученную спиралью (по Шляйтергау)

ражено, как эта связка закручена спиралью вокруг верхнего конца бедренной кости и этим помогает равновесию туловища. О коленном сочленении нам придется сказать не так много. Мы уже описали его своеобразное устройство с хрящевыми вогнутыми прокладками. Остается прибавить, что суставы человеческой ноги стали особенно массивными с тех пор, как двум ногам пришлось нести на себе нагрузку, ранее распределявшуюся на четыре. В связи с этим коленное сочленение очень широко — это самое громоздкое из человеческих сочленений — и рассчитано на большие нагрузки. Несмотря на упругие прокладки, оно имеет почти точно одну степень подвижности: сгибание и разгибание. Но связки коленного сочленения, рассчитанные на особую прочность при стоянии, т. е. при выпрямленном колене, несколько расслабляются при колене согнутом, и тогда сочленение приобретает еще одну степень подвижности — вращаемость голени вокруг ее продольной оси. В нижней конечности нет ни перекреста обеих костей дальнего отрезка (а почему его нет,

было рассказано в первой лекции), ни чего-либо похожей! на механизм пронации и супинации. У человека вторая КОС I голени — малая берцовая — имеет вообще ничтожное механическое значение. Она очень тонка, не может удержать тяжесть туловища, и если переламывается большая берцовая кость, то обыкновенно вслед за ней ломается и малая. Малая берцовая кость не стоит ни в какой связи с коленным сочленением, а с нижележащим голеностопным соединена только второстепенным образом. Она есть вообще явный сверхштатный сотрудник.

Прежде, чем говорить о соединении между голенью и стопой, надо сказать несколько слов о механическом устройстве самой стопы. Стопа так же, как и многие из уже рассмотренных конструкций, представляет собой свод. Его строение удобнее всего понять из рис. 22. В сущности, это

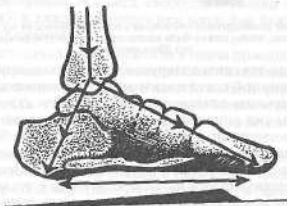


Рис. 22. Свод, образуемый костями стопы, и его сухожильно-мышечная растяжка (по Моллиеру)

даже не один, а два смежных свода. Вершиною для обоих сводов служит одна и та же надпяточная кость. Задняя подпорка у обоих сводов тоже одна: это есть уже упоминавшаяся пяточная кость, которая кончается сзади большим, далеко выступающим назад бугром. К переднему же концу оба свода раздваиваются: один кончается основанием большого пальца, другой — основанием мизинца. Первый свод более высок

и упруг; он отпечатывается (если ступить босой мокрой ногой на пол) только своими кончиками. Наружный свод более плоский и отпечатывается всегда сплошной полосой. Упругость ноги при ходьбе и стоянии зависит, главным образом, от свода «большого пальца»; им определяется то, что называется подъемом стопы.

Растяжкой своду стопы служит крепкая сухожильная пластинка, лежащая на подошвенной стороне и соединяющая пяточный бугор с основаниями пальцев. Ей помогают и другие мышцы, расположенные рядом с нею.

Вся стопа, как и кисть руки, состоит из многих мелких костей, но взаимной подвижностью многих из них мы смело можем пренебречь. Существенны для нас движения в сочленениях между надпяточной костью и соседними с нею костями.

Сверху надпяточная кость сочленена с большой берцовой (голеностопное сочленение). Это настоящее блокидное сочленение с одной степенью подвижности; с его помощью стопа может поворачиваться вокруг поперечной оси, т. е. носком прямо вверх и прямо вниз. Это движение мы назовем сгибанием и разгибанием стопы.

Снизу та же надпяточная кость соединена с двумя костями внутреннего свода стопы. На наружный свод тяжесть тела передается не непосредственно, а через внутренний. Это нижнее сочленение (неправильно называемое нижним голеностопным) обладает тоже одной степенью подвижности. Его ось проходит наискось; с его помощью стопа подворачивается внутрь и наружу. При обыкновенной рабочей стойке, для рубки зубилом или опилкой, передняя (левая) стопа движется в верхнем голеностопном сочленении, т. е. сгибается и разгибается; задняя (правая) движется в нижнем сочленении. Это последнее движение называют часто пронацией и супинацией стопы. В общей сложности, следовательно, стопа имеет по отношению к голени две степени подвижности.

Досмотрим в заключение бегло, как выглядят разобранные нами в той лекции сочленения в сокращенной схеме тела (рис. 23). Первые сочленения всех четырех конечностей

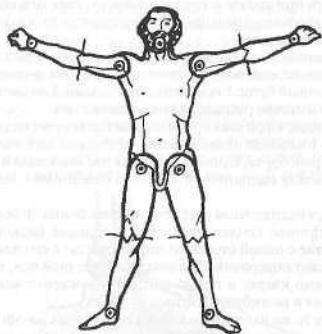


Рис. 23. Сокращенная схема тела.
Объяснения см. в тексте

(плечевые и тазобедренные) относятся к трехстепенным — это обозначено на рис. 23 двойными кружками. Вторые сочленения (локтевые и коленные) одностепенны, имеют только подвижность сгибания и разгибания. Третьи сочленения, лучезапястные и голеностопные, двухстепенны. Наконец, где-то на протяжении вторых отрезков конечностей (предплечий и голени) сосредоточено еще по одной степени подвижности: пронация и супинация кисти и продольные вращения голени. Это последнее движение в сокращенной схеме удобнее отнести тоже к третьим сочленениям. Тогда сочленения сокращенной схемы окажутся располо-

женным
руках пер
ни подви
Наконец,
также три с
ней верхне
чения чело
мать в расч
ниеподвиж
В следую
описанный на
скелета снабж

то небольшие группы мышечных волоко
друг с другом, объединены вместе
образуя, таким образом, первич
То несколько таких единиц соби
таки в общем чехле; наконец,
та с поверхности таким же
на, в некоторых случаях
ухожливыми волоко
значные мышечные
Можнольно разно-

Лекция

Товарищи! Вам всем
мические картин
без кожи, во всех
мышцами. Мож
над тем, поч
иначе, по
Между
перв
у

Посмотрим в заключение бегло, как выглядят разобранные нами в этой лекции сочленения в сокращенной схеме тела (рис. 23). Первые сочленения всех четырех конечностей

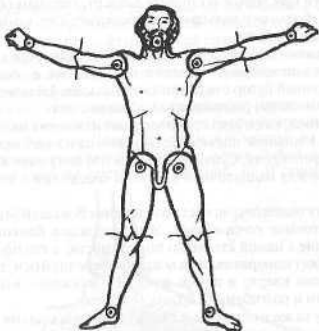


Рис. 23. Сокращенная схема тела.
Объяснения см. в тексте

(плечевые и тазобедренные) относятся к трехстепенным — это обозначено на рис. 23 двойными кружками. Вторые сочленения (локтевые и коленные) одностепенны, имеют только подвижность сгибания и разгибания. Третьи сочленения, лучезапястные и голеностопные, двухстепенны. Наконец, где-то на протяжении вторых отрезков конечностей (предплечий и голени) сосредоточено еще по одной степени подвижности: пронация и супинация кисти и продольные вращения голени. Это последнее движение в сокращенной схеме удобнее отнести тоже к третьим сочленениям. Тогда сочленения сокращенной схемы окажутся распо-

женными очень симметрично и правильно: и на ногах и на руках первые и третьи сочленения будут иметь по три степени подвижности, средние сочленения — по одной степени. Наконец, голова, как мы помним, имеет относительно шеи также три степени подвижности, состоящие из двух степеней верхнего сочленения и одной степени нижнего. При изучении человеческих движений мы будем постоянно принимать в расчет именно такое слегка упрощенное распределение подвижности.

В следующей лекции мы перейдем к разбору того, как описанный нами сейчас шарнирный манекен человеческого скелета снабжен мышцами и как он ими облуживается.

Лекция 4-я

Товарищи! Вам всем случалось, вероятно, видеть анатомические картинки, на которых бывает нарисован человек без кожи, во всех направлениях покрытый разнообразными мышцами. Может быть, вам и не приходилось задумываться над тем, почему эти мышцы распределены именно так, а не иначе, почему их очертания так запутаны и прихотливы. Между тем это вопрос, который непременно поднимается перед каждым студентом, который, приступая к анатомии мышц, с первых шагов видит себя поставленным перед необходимостью тяжелой зубрежки. Естественно спросить, неужели в этой путанице разнообразных мышечных форм нет никакого упорядочивающего закона, который дал бы возможность взять здесь не только памятью, но и пониманием? Вот мы и будем пытаться сегодня вывести такие законы и вскрыть биомеханический смысл существующего у человека распределения мышц.

Во второй лекции мы говорили по преимуществу о свойствах и способах работы простейшего мышечного двигателя - мышечного волокна. Вы помните, что каждое такое волокно, имеющее в поперечнике много меньше, чем тонкий волос, есть настоящий законченный двигатель, снабженный собственным нервом и способный сокращаться вполне самостоятельно. Но мышцы человека представляют собою не просто груды таких волокон, нагроможденных без порядка и смысла. Наоборот, группы волокон собраны в более крупные организованные единицы — то, что обычно называют мышцами, — и притом организованные в разных случаях очень различным образом. Разберем сначала основные встречающиеся здесь типы монтажа мышечных волокон.

Уже сравнительно небольшие группы мышечных волокон, проложенных рядом друг с другом, объединены вместе упругими футлярчиками, образуя, таким образом, первичные мышечные единицы. По несколько таких единиц собираются обычно вместе опять-таки в общем чехле; наконец, каждая целая мышца бывает одета с поверхности таким же точно упругим чехлом в виде рукава, в некоторых случаях усиленным еще особенно прочными сухожильными волокнами. Способы и порядки, в которых первичные мышечные единицы собираются в целую мышцу, довольно разнообразны.

Представьте себе одно мышечное волокно длиной, например, в 10 см. Допустим, что такое волокно может поднять тяжесть одной песчинки на высоту 5 см. Так как работа измеряется произведением веса груза на высоту подъема этого груза, то приведенными сейчас данными мы определили нечто, что можно назвать работоспособностью мышечного волокна (я не указываю точных цифр, к тому же разнообразна, потому что это в дальнейшем нам не понадобится). Вообразите теперь второе волокно тех же размеров и того же устройства, как и первое. Надо полагать, что и его работоспособность выразится в подъеме такой же песчинки на ту же высоту. Понятно, что если мы поставим оба волокна рядом, то они оба вместе смогут поднять на ту же высоту (5 см) груз, равный весу двух песчинок, — попрежнему по песчинке на каждое. Отсюда выводим: если объединять волокна в параллельный пучок, ставить их бок о бок, то увеличивается груз, который этот пучок может поднять, а высота подъема остается тою же, как и у каждого отдельного волокна. Тысяча волокон, все того же размера и свойства, поднимут на 5 см груз в тысячу песчинок. Мы выразим это так: подъемная сила мышечного пучка (сила ведь как раз и измеряется грузом) пропорциональна площади поперечного разреза пучка.

Наше исходное волокно втаскивало свою песчинку на высоту 5 см, т. е. на половину своей первоначальной длины.

Возьмем теперь другое волокно с такими же точно свойствами, но уже в 20 см длиною. Раз свойства этого нового волокна те же, то и грузоподъемность его будет та же — одна песчинка. Раз свойства его те же, то и оно сможет втянуть, свой груз на половину своей первоначальной длины. Эта последняя величина составит, однако, в данном примере уже 10 см. Следовательно, вдвое более длинное волокно тоже дает увеличение работоспособности вдвое, но уже на этот раз не за счет увеличения груза, а за счет увеличения высоты подъема. Это второе наблюдение обобщим так: высота подъема пропорциональна первоначальной длине мышцы. Отсюда же выведем и такое (приблизительное) заключение: произведение груза на высоту подъема пропорционально работоспособности мышцы; произведение площади поперечного сечения мышцы на ее длину примерно пропорционально ее объему. Значит, в свою очередь, работоспособность мышцы пропорциональна ее объему, иначе говоря — содержащемуся в ней количеству мышечного вещества.

Не всегда работа, требуемая от мышцы, имеет одинаковый характер. Иногда требуется подтягивать на небольшую высоту или просто держать на весу значительный груз; иногда, наоборот, вопрос стоит о поднимании малого груза на значительную высоту. Сообразно с этими противоположными задачами мышцы человеческого тела можно грубо разбить на два различных класса.

К одному из этих классов придется отнести короткие и толстые мышцы, обладающие большой силой и малым размахом действия. В наиболее простом случае такие мышцы выглядят, как широкие пластинки коротких параллельно расположенных волокон. Эти мышцы располагаются по преимуществу в тех местах, где требуется постоянное стойкое напряжение значительной силы. Мышца такого типа (ромбовидная) играет важную роль в подвесе лопатки и плечевого пояса. Иногда расположение волокон таких мышц несколько меняется: они по-прежнему коротки и параллельны друг к другу, но уже проложены наискось. Одними кон-

цами они начинаются от какой-нибудь длинной кости, а другими прикреплены к длинному собирающему сухожилию в виде шнура, которое объединяет на своем конце силу всех отдельных волокон. Таким образом вся мышца приобретает форму половины пера. Встречаются и двухсторонние перистые мышцы.

Другой класс мышц содержит в себе длинные и не толстые мышцы. Самый простой пример такого рода — это мышца, которая соединяет сосцевидный отросток черепа (под ушной мочкой) с грудной костью. Эта мышца выступает ясно на боковой стороне шеи, если повернуть голову в противоположную сторону и притом наклонить ее вперед (рис. 24). Эта мышца имеет в длину 20—25 см и вся состоит из длинных параллельных волокон. Способ ее работы совсем иной, чем у мышц первого класса: она не очень сильная, ее силу можно легко преодолеть, если поворачивать голову рукой; и, больше того, неосторожным движением можно повредить ее, вызвать растяжение («свернуть шею»). Зато размах ее движений очень велик. Благодаря паре этих мышц голова обладает большой поворотливостью.

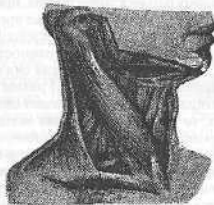


Рис. 24. Мышца шеи с правой стороны.
Во всю длину рисунка наискось тянется мышца, наклоняющая голову
(грудно-ключично-сосцевидная мышца) (по Шталевгольцу)

В разных случаях эти длинные и тонкие мышцы приобретают также разные формы. Здесь, как кажется, все зависит от места начала и прикрепления мышцы, т. е. от второстепенных обстоятельств. Очень часто такие мышцы имеют форму веретена или форму веера, волокна которого начинаются на широкой поверхности кости и потом собираются с разных сторон в одно тоненькое концевое сухожилие. Среди таких мышц попадаются и более своеобразные формы с двумя головками, с двумя брюшками, с сухожильными перемычками посередине, но в эти подробности мы сейчас входить не будем. Общая картина такова, что мышцы первого класса можно бы сравнить с товарным паровозом, с широкими цилиндрами и маленькими колесами, рассчитанными на тихий ход и большую силу тяги. Мышцы второго класса скорее подойдут к типу паровоза-экспресса.

Это простое и изящное разделение в жизни проведено, однако, не так уже строго. Вы помните, что работоспособность мышцы зависит от ее объема, а не от формы. Вы знаете из механики, что один вид работы можно превратить в другой вид без потерь и притом самыми простыми механическими средствами — например рычагом. Если к одному концу рычага, лежащему ближе к точке опоры, приложить большую силу, то ее может уравновесить и даже преодолеть малая сила, если она приложена достаточно далеко. При прямолинейном рычаге равновесие, т. е. равнозначность двух сил, достигается тогда, когда произведения этих сил на длины плеч рычага (так называемые моменты сил) равны между собою. При этом еще, когда малая сила заставляет свое плечо пройти большой путь, то уравновешивающая ее на другом конце большая сила проходит вместе со своим плечом малый путь. Сам собою напрашивается вывод, что если к одному и тому же рычагу присоединить две мышцы из обоих классов, то одна из них при целесообразном расположении сможет прекрасно уравновесить другую, а значит, и заменить другую. Из этого, в применении к мышцам, мы выведем такое следствие, имеющее первостепенную важность: две мышцы могут

вполне и во всех отношениях заменить одна другую, если их моменты относительно оси данного рычага равны.

Рычагами для мышц служат кости. Поэтому можно вынести суждение о том, на что способна данная мышца, только в том случае, если принять во внимание, кроме ее размера и формы, еще и плечо того рычага, на который ей приходится действовать, т. е. расстояние точки прикрепления ее сухожилия от оси сочленения. На рис. 25 вы видите, что короткая и толстая мышца при подходящем расположении может полностью заменить длинную и тонкую мышцу.

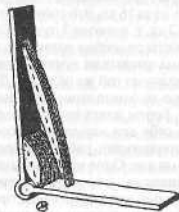


Рис. 25. Эти две (схематически изображенные) мышцы механически совершенно равнозначны друг с другом

Вообразите себе, что на кисть руки положен груз в 1 кг. Каждый из вас способен, конечно, сгибанием локтя поднять не 1 кг, а, вероятно, 10—15. Длина предплечья у обыкновенного нормального человека около 25 см. Расстояние от лучезапястного сустава до центра кисти около 10 см. Значит, длина предплечного рычага до точки, в которой находится груз, составляет около 35 см у взрослого мужчины. Теперь второе плечо рычага, которое простирается от точки вращения рычага к тому месту, где прикреплена мышца, не бывает больше 5 см. Значит, оно в 7 раз короче, чем плечо, на котором держится груз. Здесь, следовательно, имеется рычаг второго

рода. Точка опоры у него в локтевом сочленении; одна сила действует на расстоянии 5 см, другая на расстоянии 35 см. Сила груза, которая действует вниз, скажем, 1 кг. Теперь спрашивается: какова должна быть сила мышцы для того, чтобы уравновесить этот килограмм? Вот вам маленькая задача. Одно плечо 5 см, другое — 35 см. Какова сила должна быть здесь?

Слушатель. 7 кг.

Лектор. Представьте себе, что один из вас на своей кисти руки держит пудовую гиру. Сильный человек это может сделать. Будем считать ее за 16 кг. Это соответствует силе напряжения мышцы в 112 кг, т. е. около 7 пудов. Стало быть, мышца в общей сложности способна развивать гораздо большее напряжение, чем мы привыкли думать. Давайте решим еще одну маленькую задачу из той же области. Для этого придется немного упростить те отношения, которые в действительности существуют. Берем опять то же самое локтевое сочленение. Я позволю себе его нарисовать совсем схематично. В этом локтевом сочленении работают содружественно не одна мышца, а целых две. Одна из этих мышц — двуглавая — идет более поверхностно; я ее рисую схематически в виде стрелки. Другая мышца, которую на себе прощупать трудно, лежит гораздо глубже, но расположена, приблизительно, параллельно первой, так, как другая стрелка, которую я рисую. Я изображаю их в виде большой стрелки и маленькой. Надо сказать, что человек не умеет напрягать одну мышцу в отдельности и оставлять остальные в покое. В дальнейших лекциях мы убедимся, как мы плохо пользуемся нашими мышцами и как мало у нас в этом смысле ловкости. Также не умеем мы отдельно пускать в ход двуглавую и внутреннюю плечевую мышцы. (Конечно, если бы мы приложили электрические проводники — электроды — к этим мышцам и пустили бы через них ток, то они могли бы сократиться по отдельности) Предположим, однако, что мы сами сумели пустить в ход одну и другую мышцу по отдельности. Теперь давайте решать такую задачу. Будем считать, что плечо рычага, с кото-

рым соединена внутренняя плечевая мышца, в три раза меньше, чем плечо рычага двуглавой. Во сколько раз сильнее или слабее должна напрячься короткая мышца, чем длинная, для того, чтобы уравновесить тот же самый груз?

Слушатель. Сильнее в 10 раз.

Лектор. Вы думаете в 10 раз? Давайте разберем. Значит, плечо груза по-прежнему 35 см. Плечо двуглавой мышцы — 5 см. Плечо короткой мышцы втрое меньше, стало быть, У, см. Во сколько раз короткая мышца должна напрягаться сильнее, чем двуглавая? (Слушатель затрудняется с ответом) Представьте себе еще цифру. Здесь груз в 1 кг. Каково будет напряжение каждой из мышц, если они работают в одиночку? Ну, скажем, напряжение двуглавой приблизительно 7 кг. Напряжение плечевой 21 кг — значит, в три раза больше, чем напряжение двуглавой мышцы. Мы убедились в том, что человек, который может поддерживать пуд на вытянутой руке, может напрягать свою двуглавую мышцу приблизительно до 100 кг. Стало быть, предельная сила составляет 100 кг. Если бы внутренняя плечевая мышца способна была тот же самый груз поддержать на вытянутой руке (на самом деле она не может, но если бы могла), то какое напряжение потребуется для этого? Двуглавая — 100 кг, а внутриспечевая?

Слушатель. 300.

Лектор. 300 кг. Теперь представьте себе, что у нас есть какая-нибудь возможность сфабриковать искусственную мышцу. Возьмем в качестве костей 2 дощечки, соединим их шарниром, натянем между ними искусственную мышцу, которая и должна изображать двуглавую. Соорудим ее таким образом, что эта мышца будет способна уравновесить пудовый груз на конце дощечки, т. е. будет способна развить силу в 100 кг. Теперь я предлагаю спроектировать такую мышцу, которая могла бы дать напряжение, необходимое для поддержания одного пуда, будучи расположена, как внутренняя плечевая. Какой она должна быть длины и величины и т. д., чтобы выдержать 300 кг? Во сколько раз она должна быть толще?

Слушатель. В три раза.

Лектор. Ясно, она должна быть в три раза толще. /А во сколько раз короче?

Слушатель. В три раза.

Лектор. Теперь объем. В какой из двух мышц количество мышечного вещества должно быть больше или меньше?

Слушатель. Больше... меньше.

Лектор. Почему больше?

Слушатель. То же самое.

Лектор. Конечно, то же самое. Почему? Потому, что работа все равно будет одной и той же. Какую бы мышцу мы ни взяли, работа будет зависеть только от того, сколько мышечного вещества мы пустили в дело. Здесь мы рассчитали совершенно верно, что они будут одинаково работоспособны, если они будут одинакового объема. Я вам порекомендовал несколько книжек; в одной из них, очень хорошей книжке И. М. Сеченова (Очерк рабочих движений человека), высказано то же, о чем мы сейчас говорили. Но там говорится, что короткая и толстая мышца существенным образом отличается от мышц длинных и тонких. Мы с вами видели, что они действительно отличаются, но только тогда, когда мы им предлагаем непосредственно подтягивать груз. Если же они смонтированы для работы по закону рычага, то картина получается другая. Короткую и толстую мышцу можно заменить длинной и тонкой, если мы ее соответствующим образом расположим. Появление толстых мышц или тонких зависит большей частью от того, каковы общие условия работы мышцы, где она расположена, где ей удобно находиться и т. д.

Обратимся теперь к тому, как мышцы обслуживают целые сочленения с разными степенями подвижности. Как вы помните, во второй лекции говорились, что мышца во многих отношениях похожа на цилиндр двигателя внутреннего сгорания. Кстати сказать, сходство это выдержано и для только что разобранного разделения мышц на два класса. Каждый из вас, кто имел дело с автомобилями, знает разницу между значением поперечного сечения цилиндра и хода

поршня. Ту роль, которую для мышц играет длина плеча рычага, для автомобильного двигателя берут на себя передача и коробка скоростей. Но сходство сохраняется и в том отношении, что и мышца и поршень автомобильного цилиндра могут производить активное движение только в одном направлении, а для обратного направления нуждаются в посторонней силе. Иногда (в одноцилиндровых двигателях мотоциклов) такой посторонней силой служит маховик; в наших опытах с мышцей во второй лекции мы для той же цели пользовались растягивающим грузом. Гораздо удобнее, однако, составить двигатель из двух противоположно действующих половин. В многоцилиндровых двигателях внутреннего сгорания разные цилиндры помогают друг другу тем, что, когда один совершает свое активное движение, он в то же время помогает сотоварищам, соединенным с ним через общий вал, произвести их пассивную часть движения (насосать смесь и сжать ее). Также артериями организованы повсюду и мышцы. Они размещены по разным сторонам сочленения так, что если одна из них совершает поворот сочленения в каком-либо одном направлении, то остальные своими активными сокращениями способны повернуть ту же часть тела обратно. Такие группы мышц противоположного действия носят специальное название мышц-антагонистов, но это название, как мы, можем быть, увидим еще и в этом курсе, очень неудачно. Для биомеханики существенно не то, что эти мышцы суть как бы противники между собой, а, наоборот, то, что они артериями, коллективным порядком участвуют вместе в совершении каждого данного движения. Как располагаются члены таких артерей, можно будет понять, однако, только после того, как мы взглянем на роль мышц с совсем новой стороны.

До сих пор мы упорно и постоянно смотрели на мышцы исключительно как на двигатели. Между тем основная роль (и, может быть, самая старинная роль) мышц состоит в том, чтобы служить неотъемлемой строительной частью тела животного, необходимой для его прочности. Возьмите часового, стоящего в совершенно окаменевшей позе перед каким-ни-

будь памятником или дворцом. Где же тут движение? Он застыл, как кукла, а между тем попробуйте-ка поставить в такой же позе голый костный скелет. В последнем налицо все те же жесткие части, что и в живом часовом, однако без целого ряда подпорок скелет стоять не будет: он рухнет. Вся разница в том, что у живого человека и для неподвижного стояния мышцы нужны ровно в такой же мере, как и кости. Они суть неизбежный статический элемент человеческого сооружения.

Возьмем, пожалуй, еще пример. Мышцы суть мягкие растяжки, как уже было сказано. Такими же нежесткими растяжками являются канаты висячего моста. Попробуйте-ка перерезать эти канаты; вы этим не убавите ни одной жесткой части, между тем автомобилям и поездам, проходящим в этот момент по мосту, придется плохо: они выкупаются в реке. Относительно канатов это всем очень хорошо известно, и потому за покушение на их перерезку человек попадет в милицию. Относительно мышц об этом почему-то мало кто думает.

Сравним для примера устройство скелета и мышц человека с таковым же устройством насекомых. Вот у последних мышцы играют только двигательную роль, и мертвое высохшее насекомое обладает точно той же прочностью, как и насекомое живое. Звенья конечностей насекомых имеют строение жестких трубок, одинаково прочных как по отношению к сжатию, так и к растяжению; поэтому их мышцы (рис. 26) выполняют чисто двигательную роль. Они помещены внутри трубок и заняты только разнообразным подтягиванием их.

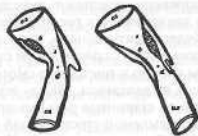


Рис. 26. Разрез сочленения насекомого и расположение мышц, управляющих этим сочленением (по Шенкену)

Не то у позвоночных. У них скелет построен везде по одному принципу: жесткий стержень в середине, упругие растяжки по сторонам. Первый работает на сжатие, вторые на растяжение. По такому принципу, например, строятся радиотелеграфные мачты, обладающие стержнем в середине и растягиваемые тросами с четырех сторон.

Все различие между искусственными сооружениями такого рода и человеческой машиной состоит в том, что у радиомачты растяжки имеют постоянную длину и почти нерастяжимы, в то время, как у позвоночного часть этих растяжек может менять свою длину и степень натяжения. Мышцы суть простые тросы, но только тросы с регулировкой длины.

В живой машине позвоночных два вида тканей берут на себя сопротивление сжатию: это костная и хрящевая ткань. Эти две ткани стоят между собой в близком родстве, могут замещать одна другую и часто развиваются из общего первоисточника. Точно так же задачу сопротивления растяжению берут на себя две другие группы тканей, опять-таки родственные между собой и переходящих друг в друга. Это будут сухожильная и мышечная ткань. Разница между обеими последними, по существу, только в том, что сухожильная ткань не имеет регулировки длины, а мышечная ткань ее имеет.

Уже в первой лекции я рассказывал вам о замечательном свойстве живого организма устранять костную ткань в тех местах, где она не подвергается прямому воздействию усилий. То же свойство обнаруживает организм и по отношению к другим видам тканей, причем всегда ткань более тонкого и сложного строения имеет склонность при первой возможности и при отсутствии спроса на ее специальные способности замещаться другой, менее высококвалифицированной. В частности, мышечная ткань постоянно замещается сухожильной тканью, т. е. связками, в тех местах, где не встречается запросов на саморегулирование растяжки. Мы знаем, например, из медицинской практики, что происходит, когда какое-нибудь сочленение вследствие застарелого вывиха или иной болезни теряет свою подвижность. Неизбеж-

но вслед за этим наступает вырождение мышц этого сочленения, превращение их в сухожильно-подобную ткань. Расположение мышц вокруг сочленения становится понятным только при том условии, если мы будем рассматривать связки этого сочленения и его мышцы вместе, в общей совокупности.

Древнейшие формы сочленений обладали еще очень неопределенной формой и многостепенной податливостью по всем направлениям. В связи с этим мышечная оболочка таких сочленений окружала их более или менее равномерно со всех сторон. Превращение отдельных частей этой мышечной оболочки в сухожилия и связки приходится считать вторичным преобразованием, которое связано с более точным оформлением сочленений и получившимся при этом ограничением степени их подвижности.

Возьмите для начала рычаг, насаженный на ось с одной степенью подвижности. Такой рычаг может поворачиваться только в одной плоскости; для всех других направлений он закреплен устройством своего шарнира. Значит, ему требуются для равновесия растяжки только в таком количестве, которое необходимо для закрепления его и в этом последнем направлении. Сколько же тут требуется растяжек?

Слушатели. Одна? Две?

Лектор. Взгляните на рис. 27 и разберитесь в его положении. Если ограничиться одной только растяжкой, то она перетянет рычаг на свою сторону, и ничто этому не сможет помешать. Очевидно, растяжек должно быть две, притом рас-

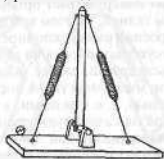


Рис. 27. Схема мышечных растяжек одноосного сочленения (мышцы-антагонисты)

считанных на прямо противоположный образ действий. С такими растяжками сочленение закреплено вполне.

Берем теперь двухосное сочленение (рис. 28). Сколько нужно растяжек при двух осях? Часто думают, что к двухосному сочленению потребны две пары растяжек противопо-

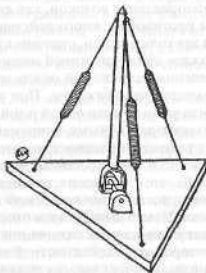


Рис. 28. Схема расположения мышечных растяжек при двухосном сочленении

ложного действия, а к трехосному сочленению — три пары. Это, однако, не верно: из рис. 28 ясно видно, что при двух степенях подвижности достаточно трех растяжек, притом расположенных как угодно, лишь бы они не приходились все три на одной стороне. Вы понимаете, что если расположить растяжки правильным треугольником (как это делается, например, в палатках о трех канатах), то, меняя подходящим образом длины этих трех растяжек, можно будет заставить осевой стрежень принять любое положение из числа доступных ему по двум степеням подвижности. Точно так же можно бы доказать, что при трехосном сочленении наименьшее достаточное число растяжек есть четыре. Очевидно, в двух последних случаях ни одна мышечная растяжка не является

по отношению к другой стойким противником — антагонистом. Наоборот, костный рычаг может быть уравновешен и любым доступном ему положении только при посредстве соответственного перераспределения длин всех его растяжек. При каждом движении в сочленении участвует не одна мышца подходящего направления волокон, как думали когда-то, и не две мышцы противоположного действия, как нередко думают сейчас, а вся толща мышц, стоящих в связи с данной мочленением. Каждое движение живой машины есть результат перераспределения напряжений между всеми мышцами органа, производящего это движение. При этом нередки и такие случаи, когда разные части одной и той же мышцы одновременно обладают различными напряжениями, так что процесс перераспределения распространяется не только на отдельные мышцы, но и на их составные части.

Представьте себе, что сочленение, некогда подвижное во всех направлениях, постепенно потерпело ограничение в своей подвижности. У него выработался отчетливо сформированный аппарат сочленовных окончаний с закраинами, мешающими всесторонней подвижности. В связи с этим оно уже не может выполнять очень многих движений из доступного ему раньше разнообразия. Вам теперь уже понятно, что мышцы, которые благодаря этому обречаются на бездействие, не остаются мышцами, а превращаются в связки. Мы установили, что для сочленения с наибольшей трехступенной подвижностью нужны всего четыре растяжки; этих четырех растяжек мы будем теперь искать уже во всяком сочленении, помня только, что мышечное строение сохранило из них лишь то количество, которое необходимо сочленению с данной подвижностью.

Иными словами, мы будем ожидать в одноступенном сочленении двух мышечных растяжек (противоположного действия) и двух связок; в двухступенном сочленении — трех мышц и одной связки; наконец, в трехступенном сочленении — четырех мышц и, может быть, ни одной связки. Во

многих случаях мы найдем такое распределение и в действительности.

Вот теперь в наших руках есть достаточный ключ к тому, чтобы разобраться в монтаже мышц человеческой машины. Мы имеем возможность подойти к их распределению сознательно, с точными данными в руках. Само описание распределения и способа работы мышц человеческого тела послужит предметом следующей лекции, а сейчас я хочу научить вас, как определять назначение и направление действия мышцы на живом человеке.

Вы помните, что мышца напрягается тогда, когда есть налицо какая-нибудь растягивающая ее сила: ведь действие всегда равно противодействию. Если никакая посторонняя сила не мешает мышце совершить некоторое движение, то она преспокойно совершит его, сократится и никаким напряжением, вообще никаким наглядным признаком это на ней не отразится: она будет и во время своей работы такой же мягкой, как была и в покое. Этим путем мы ничего и не узнаем.

Значит, для того, чтобы мышца, предназначенная для данного движения, чем-нибудь себя выдала, надо добиться, чтобы она напряглась и стала твердой на ощупь. Для напряжения нужна противодействующая сила. Отсюда способ.

Пусть вам желательно определить, какая мышца совершает разгибание плеча. Вы предлагаете испытываемому производить разгибание плеча; но еще прежде, чем он начнет это движение, вы берете его за нижний конец плеча и изо всех сил препятствуете ему совершить это движение. Он старается разгибать плечо, а вы его не пускаете. Вот при этих условиях у него все мышцы останутся мягкими, кроме только тех, которые в обычных условиях производят разгибание плеча. Если вы одной рукой будете удерживать его руку, а другой легонько пальцами пощупаете сквозь кожу разные мышцы и мышечные пучки в окрестностях плеча, то вы сразу поймаете те из них, которые замешаны в данное движение. Это есть единственный правильный прием, которым я рекомендую вам пользоваться во всех случаях.

Сделаем пробу. Я попрошу сюда на авансцену трех товарищей. Один будет у нас испытуемым, двое — обследователями.

Вот займитесь-ка определением того, какая мышца участвует в разгибании плеча. Сначала проделайте это движение: не забыли ли вы, что называется разгибанием плеча? Верно, это будет поднимание плеча вперед и наружу. Теперь поставьте опыт так, как я сейчас объяснил. Удерживайте его руку, сильнее, изо всех сил; а он пусть изо всех сил старается разогнуть плечо. Прощупайте его плечевую область. Где вы находите напряжение?

Слушатели. Вот здесь спереди на плече.

Лектор. Возьмите мелок. Пусть один из вас по-прежнему удерживает руку испытуемого, а другой прощупывает осторожно границы напряжения мышц и обрисует их мелком по коже. Что получилось? Вы видите, что в результате испытания определилась мышца, сидящая на наружной и передней стороне плечевой области, как эполет. Эта мышца называется дельтовидной мышцей; а теперь вы уже знаете и то, как эта мышца действует. Вы можете быть уверенными после проделанного опыта, что разгибание незагруженного плеча производит именно она (рис. 29, Б). Сделаем еще опыт. Я прошу испытуемого поднять плечо на 45° прямо в сторону. Нет, вы не то делаете, вы поднимаете надплечье, а ведь плечом называется отрезок руки от плечевого сочленения до локтевого. Теперь правильно. Помните ли вы, как сделать приведение плеча? (Испытуемый опускает руку обратно.) Нет, то движение, которое вы сейчас сделали, придется просто назвать опусканием плеча. Приведение — это есть поворот плеча вокруг вертикальной оси. Поставьте плечо в прежнее положение на 45° в сторону. Теперь делайте им оборот вперед, все время оставляя локоть на одной и той же высоте, ведите его по горизонтальному кругу. Вот так. Это и есть приведение плеча. Теперь пожалуйста сюда, обследующие: определите, какие мышцы управляют этим движением. Не теряйтесь же. Как здесь надо поступить?

Обследующие. Удерживать руку? —

Лектор. Именно; как же вы ее будете удерживать? Верно, не давайте ему приводить плечо. Погодите-ка ощупывать; поверните испытуемого лицом прямо к аудитории и устройте так: пусть он по очереди попытается с силой приводить плечо, то снова расслабляет руку в прежнем исходном положении. Спросим аудиторию: не скажет ли она уже без ошупывания что-нибудь о том, какая мышца заинтересована в приведении плеча?

Слушатели. У него напрягается подмышкой.

Лектор. Только ли подмышкой; всмотритесь внимательно.

Слушатели. Еще на груди.

Обследующий. У него напрягается валик впереди от подмышечной ямы и лотом еще вся передняя часть груди.

Лектор. Я сейчас покажу вам рисунок, изображающий мышцы плечевой области и грудной клетки спереди. Узнаете ли вы на нем ту мышцу, которую вы сейчас уличили в приведении плеча (рис. 29)?

Обследователи. Вот эта. (Указывают на мышцу, отмеченную на рис. 29 буквой А.)



Рис. 29. Мышцы правой плечевой области, спереди.
А — большая грудная мышца, Б — дельтовидная мышца (по Шпагелевскому)

Лектор. Опять-таки вы верно нашли требуемую мышцу. Эта всеобразная мощная мышца носит название большой грудной; со способами ее действия, которые очень разнообразны, и с местами ее прикрепления мы познакомимся в следующий раз. Теперь вы вооружены способом, который поможет вам ориентироваться в действии любой поверхностно лежащей мышцы. В свободное время поупражняйтесь в нем.

Лекция 5-я

Товарищи! Приступаем к разбору мышечного и связочного оборудования человеческой машины. Я менее всего собираюсь затруднять вас описаниями отдельных мышц. Ведь уже в прошлый раз мы выяснили, насколько не сходится двигательная и статическая роль мускулатуры с анатомическим разделением ее на отдельные мышцы. То, что анатомы называют отдельными самостоятельными мышцами, выделено ими нередко из общей мышечной толщи на основании таких случайных признаков, как несколько более плотный соединительнотканый чехол, одевающий эту часть. А снимая с себя обязательство говорить об анатомических подробностях, мы сильно упрощаем нашу задачу и уменьшаем время, потребное для рассказа. Начнем с туловища.

Я уже говорил, что позвоночник четвероногого в структурном отношении представляет собою мост, перекинутый между двумя быками — передними и задними конечностями. Взгляните на рис. 30. Позвоночник между обеими точками

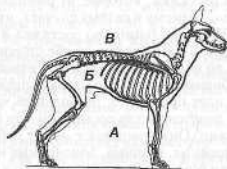


Рис. 30. Схема туловищных мышечных растяжек четвероногого млекопитающего:

- А — брюшная растяжка.
- Б — сухожильная растяжка позвоночника.
- В — спинная растяжка

ми опоры представляет собою арку, обращенную выпуклостью, как это и полагается, кверху. Если бы от позвоночника требовалась только жесткость, то уже этого изгиба могло бы быть достаточно для его укрепления. Но природа поставила позвоночнику более сложное строительное требование; требование, надо сказать неразрешенное еще строительным искусством человека. Именно сохраняя свою прочность, не подгибаясь и не проваливаясь, позвоночник должен в то же время быть гибким сооружением, иметь возможность различным образом менять свою форму. Выход из этого положения природа нашла такой.

Принцип устройства позвоночника тот же, с каким мы уже встречались в этом курсе не один раз: природа скупа на выдумки. Жесткий стержень позвоночника снабжен с четырех сторон четырьмя растяжками (рис. 30), которые тянутся параллельно с ним во всю его длину: снизу, сверху и с обоих боков. Растяжки эти имеют разное устройство. Вы понимаете, что постоянный запрос на сопротивление растяжению предъявляется к нижней растяжке: она работает все время, пока животное стоит. В связи с этим нижняя растяжка сухожильная, устроена она в виде плоской ленты, пришитой к телам всех позвонков с брюшной (т. е. с нижней) стороны. Остальные три растяжки, которые то работают, то нет, во всяком случае по-разному в разных случаях, имеют мышечное строение. И задняя (спинная) растяжка и обе боковых лежат в виде двух толстых жгутов по обе стороны позвоночника. Это есть то самое «мясо», которое известно на кухне под именем отбивных котлет. Вся масса мышечных волокон этих растяжек идет продольно; по большей части волокна здесь коротки, тянутся между соседними или близко лежащими позвонками. Они сращивают между собой не только все позвонки, шейные, грудные, поясничные и крестцовые, но захватывают и все кости, какие подвернутся по соседству: затылочную часть черепа, задние концы ребер и тазовые кости. Посмотрите еще раз на рис. 30; вы видите, что позвоночник четвероногого имеет по своей длине три разных изгиба.

В грудной части он обращен выпуклостью вверх, а в шейной и поясничной - вогнутостью вверх. Подумайте, где нужны более прочные растяжки, в особенности верхние? Ведь в грудной части позвоночник похож на арку; значит, прочность в сильной степени достигается уже его формой. Не то в шейной и поясничной частях. Действительно, в этих частях продольные мышцы спины толще, солиднее, чем в грудной части.

У человека с вертикально расположенным позвоночником распределение усилий другое. Вы помните, что мы говорили в прошлой лекции про момент силы. Чем плечо рычага меньше, тем сила должна быть больше, чтобы имело место равновесие. Силой в данном случае будет опрокидывающее усилие тяжести, которое стремится уронить позвоночник. При данном значении момента этого усилия силы, которыми он себя проявляет, будут тем больше, чем ближе к нижнему концу позвоночника. Значит, в нижней его части продольные мышцы у человека должны быть толще, чем в верхней. Понятно ли?

Слушатели. Не совсем.

Лектор. Сообразите: верхним отделам этих мышц, например шейному, приходится преодолевать груз одной только головы, которая весит $4\frac{1}{4}$ кг, и плечо рычага здесь составит, от середины шейного отдела до центра тяжести головы, сантиметров 15. Поясничному же отделу приходится сопротивляться действию тяжести туловища с головой и руками, что весит 38 кг, и плечо рычага здесь сантиметров 35—40. Значит, для поясничных мышц груз в девять раз больше и плечо рычага втрое. Следовательно, момент здесь в двадцать семь раз больше, чем для шейных мышц. Теперь ясно? Ну вот.

Теперь арка позвоночника нами оборудована. Можно перейти к тому, как этот позвоночник нагружен. Нагрузку позвоночника представляет собою туловище. У четвероногого обе пары конечностей служат как подпорки и в счет не идут; на позвоночнике висит только само туловище, представляющее собою полный футляр или чемодан для внутренних орга-

нов. Все мышцы, кости и связки туловища (кроме немногих мышц внутренностей, о которых мы здесь не говорим) представляют собою только оборудование стенок этого чемодана. А устройство этих стенок совершенно такое же, как у многих чемоданов искусственных.

Эти стенки обтянуты в три слоя плоскими мышцами с разными направлениями волокон. В двух наружных слоях волокна идут наискось крест-накрест друг к другу. В третьем, самом глубоком слое, они идут горизонтально, поперечно. Благодаря такому перекрестному ходу получается особенная крепость и эластичность стенки во всех направлениях. Если хотите, по тому же принципу перекрестных слоев устраиваются фанерные листы; вам известно, какой выигрыш в прочности достигается этим. В брюшной части мышечные пластины идут сплошь; в грудной сквозь них пропущены еще ребра, которые ровно ничего не меняют ни в расположении, ни в образе действия слоев. У биомехаников есть плохая привычка сравнивать все, что можно, с искусственными сооружениями. Следуя этой привычке, я не могу и здесь не сравнить ребра с китовым усом в корсете.

Сколько-нибудь подробнее описывать мышцы туловищной стенки я здесь не могу; интересующимся предложу заглянуть в анатомический атлас.

На таком несложном сооружении, как туловище, смонтированы гораздо более мудреные машины поясов конечностей. И эти последние можно осмыслить, только если начать с четвероногих млекопитающих. Мы уже говорили, что плечевой пояс устроен по типу висячего моста. Укрепление его к туловищу состоит у четвероногих из широкого мышечного полотна, на которое грудная клетка положена так, как кладут на ляжки обучающихся плавать. Это полотнище охватывает, следовательно, всю грудную клетку с нижней стороны; а наверху прирастает к верхним обрезам лопаток, проходит еще выше и, наконец, сходится обоими концами у позвоночного столба. У человека, как вы понимаете, отношения переменились. У него уже не передние конечности несут ту-

ловище, а, наоборот, туловище несет передние конечности. Это обозначает разгрузку плечевого пояса более чем в три раза. Кроме того, при вертикальном туловище тот мышечный бандаж, который я сейчас описал, лежит уже горизонтально, а не вертикально, как раньше, и служит уже в качестве подвеса туловища только побочным образом. В связи со всем этим он ослабел, стал меньше, а за счет его усилились соответственно другие части. Вид этого мышечного бандажа у человека спереди изображен на рис. 31, а его задняя половина, та, что соединяет лопатку с позвоночником, была упомянута нами в четвертой лекции, на стр. 579.



Рис. 31. Передняя часть мышечного бандажа, укрепляющего лопатку к туловищу, — передняя зубчатая мышца (по Шольте-гольцу)

Итак, у человека вторично развились **НОВЫЕ** растяжки, пригодные для подвеса лопатки и плечевого пояса при новой вертикальной стойке. Эти новые подвески удерживают лопатку сверху и снизу, укрепляя ее в этих направлениях к позвоночному столбу. Вид этих подвесок, носящих название трапециевидной мышцы, приведен на рис. 32.

Итак, человеческая лопатка снабжена в общей сложности четырьмя мышцами, идущими от нее во всех четырех направлениях к туловищной стенке. Я уже говорил, что четыре



Рис. 32 Мышцы спины;

III- трапециевидная мышца,
III — широкая мышца спины (см. рис. 35),
Д- дельтовидная мышца (по Шпынегольцу)

растяжки могут обеспечить три степени подвижности; а эти три степени лопатка как раз и имеет. Она может совершать движения вверх и вниз, в обе стороны, и, кроме того, еще вращаться. Из предыдущих объяснений понятно, что движения лопатки в стороны (приведение и отведение) могут совершаться с помощью обеих половинок мышечного бандажа, служившего передней подвеской у четвероногих. Ее же движения вверх и вниз производятся частями новой подвески - трапециевидной мышцы. При этом верхняя, поднимающая часть трапециевидной мышцы сильнее и больше, чем нижняя. Это и неумудрено: ей приходится ведь постоянно преодолевать силу тяжести рук.

Как же обстоит дело с вращением лопатки? Здесь лопаточным мышцам приходится сокращаться порциями, частями. Для поворота лопатки наружу пускаются в ход нижняя порция спинной половины и верхняя порция брюшной по-

ловины поперечной растяжки. Для поворота лопатки внутрь есть целых два мышечных механизма. Во-первых, та же самая поперечная растяжка может дать поворот и внутрь, если только в ней сократится верхняя порция спинной половины и нижняя порция брюшной. Но кроме того, тот же эффект может дать и трапециевидная мышца. Посмотрите, как она устроена (рис. 32). Своим туловищным концом она прикреплена ко всем шейным и грудным позвонкам, да еще к нескольким поясничным. Со всего этого громадного протяжения она собирается веером к лопатке, где прикрепляется к большому костному рычагу, далеко выступающему из лопаточной пластины. Но к этому рычагу волокна трапециевидной мышцы прикрепляются не в одной точке. Наоборот, самые верхние волокна, идущие из-под затылка, отходят всего более в наружную сторону и прикрепляются на упомянутом рычаге лопатки на самом наружном конце, иногда заходя даже за ключицу. Нижние волокна той же мышцы, напротив того, поднимаются почти вертикально вверх и кончаются на лопатке у самого внутреннего конца того же рычага. Вообразите себе, что верхняя и нижняя порции трапециевидной мышцы напряглись одновременно. Ясно, что такое напряжение должно будет повести опять-таки к повороту лопатки внутрь.

Чем объяснить, что для поворота внутрь имеется в два раза более мощный мышечный аппарат, чем для поворота наружу? Помня только о лопатке, вы этого не объясните. Я воспользуюсь случаем, чтобы проверить, что вы усвоили относительно совместных движений лопатки и плеча. Вообразите, что плечо закреплено неподвижно в плечевом сочленении с помощью мышц этого сочленения. Что произойдет с плечом, если вы при этом начнете совершать поворот лопатки внутрь? Это вас затрудняет? Скажу иначе. Постарайтесь сообразить, какому именно из движений плеча помогает поворот лопатки внутрь? Можно сказать и еще иначе. Вы помните, что движения лопатки могут увеличивать границы подвижности плеча. Так вот, при каком же движении плеча

нужно пустить в ход поворот лопатки внутрь, чтобы расширить границы подвижности в этом направлении?

Слушатели. При разгибании плеча.

Лектор. Верно. А следовательно, чем сопровождается со стороны лопатки противоположное движение — сгибание плеча?

Слушатели. Вращением в другую сторону.

Лектор. Да, т. е. вращением наружу. Теперь скажите, на что нужно затратить больше силы: на разгибание или на сгибание плеча?

Слушатели. Почему?

Лектор. На разгибание.

Слушатели. Потому что при разгибании подъем.

Лектор. Вот поэтому-то вращение лопатки внутрь требует более сильного аппарата мышц, чем вращение ее наружу. В сущности, весь подвес плечевого пояса человека этим исчерпан; но далеко не исчерпаны еще все мышцы этого пояса. Причина этого заключается в следующем.

Когда начинается развитие мышц конечностей, то эти мышцы возникают сначала своими нижними концами, т. е. на конечностях, и уже оттуда тянутся по направлению к поясам и туловищу. При этом одни из таких мышц доползают только до костей поясов — в нашем случае до лопатки, — другие же проходят без остановки мимо лопатки и прикрепляются уже прямо на туловище. Происходит нечто подобное с тем, как устроены дачные поезда на многих железных дорогах: одни обслуживают только близкие станции, другие только далекие. Так вот, безостановочные поезда для дальних станций, т. е. мышцы прямого сообщения «плечо-туловище», перемещаются с только что описанными мышцами подвеса и осложняют собою их внешнюю картину, а отчасти и их механическое поведение.

Нам будет удобнее начать с коротких мышц плечевого сочленения. Этих мышц имеется вокруг сочленения пять; но механически правильнее одну из этих пяти, именно дельто-

видную, рассматривать совместно с мышцами длинной группы. Оставшиеся четыре будут следующие (рис. 33).

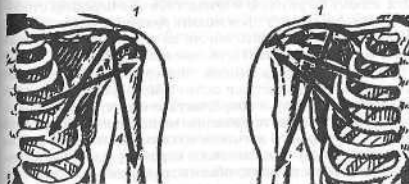


Рис. 33. Направление мышечных тяг короткой группы плеча:
1 — надостная мышца, 2 — подостная мышца, 3 — подлопаточная мышца,
4 — клювовидно-плечевая мышца, 5 — малая грудная мышца

Все они соединяют плечо с лопаткой. При этом они парно подходят к нему с двух сторон. На наружной стороне плечевой кости у самого конца имеется небольшой костный выступ, называемый большим бугром плеча. На переднем краю плеча, тоже у самой верхушки, лежит еще другой бугорок — малый бугор плеча. Две из упомянутых сейчас мышц как раз идут к большому бугру, одна сверху, другая сзади. На рис. 33 эти мышцы обозначены № 1 и 2. Та, что подходит к бугру сверху, начинается на лопатке, над тем костным рычагом, о котором я говорил при описании трапецевидной мышцы. Вторая начинается со всей лопаточной пластины под тем же рычагом. Если вы взгляните в их расположение, то поймете, что верхняя из этих двух мышц может работать, как разгибатель плеча, а нижняя — как его сгибатель. Кроме того, нижняя мышца, которая охватывает плечевую кость сзади, годится еще и для вращения плеча вокруг его продольной оси наружу.

Третья мышца этой группы начинается тоже от всей лопаточной пластины, на этот раз от ее внутренней поверхности, той поверхности, которая прилегает к ребрам. Она идет уже к малому бугру плеча и огибает плечо с передней стороны. Значит, она может производить вращение плеча внутрь, и кроме того, сокращаясь вместе со второй из описанных сейчас мышц, производит сгибание плеча (рис. 33, № 3).

Наконец, четвертая мышца этой группы начинается от маленького крючка лопатки около самого плеча, направляется вниз вдоль плеча и прирастает к его внутреннему краю. Эта мышца есть явная приводящая мышца плеча. Вы можете спросить: отчего же в плечевом сочленении имеется целых две мышечные группы, длинная и короткая, и как распределяются обязанности между обеими группами?

Может быть, лучше всего ответит нам на этот вопрос опыт. Организуем его, как в прошлый раз: с одним испытуемым и с двумя исследователями. В тот раз мы не занимались мышцами ручной кисти; посмотрим-ка их теперь. Пусть испытуемый сжимает пальцы в кулак, а кто-нибудь из обследующих, знакомым вам порядком, мешает этому движению. Другого исследователя я попрошу поискать, какие мышцы участвуют в сжатии кулака. Помните, как это надо делать? Да, конечно, надо опущать мышцы. Так и поступите.

(Испытуемый сжимает кулак; его пальцы удерживает другой; третий ощупывает предплечье, плечо и плечевую область, затем указывает на переднюю сторону плеча и говорит: напряжено вот здесь).

Лектор. А еще где напряжено?

Обследователь. А еще здесь выше.

Лектор. Значит, по-вашему, получается, что мышцы пальцев находятся в плечевой области?

Обследователь. Так выходит.

Лектор. Попробуйте еще предплечье.

Обследователь. Тут тоже напряжено.

Лектор. Что же это значит? Получается, что мышцы всей руки напрягаются для сжатия пальцев в кулак? Немножко

далее вы убедитесь, что настоящие сгибатели пальцев находятся на предплечьи, там где вы их прощупали. В каком же смысле участвуют здесь остальные вышележащие мышцы? Видоизменим нашу пробу. Установим испытуемого, как и раньше, пусть он опять тщетно пытается сжать кулак, а вы в это время обследуйте область плечевого сочленения, со всех сторон, и спереди, и сзади, и сверху.

Обследователь. Везде напряжение; тут, впрочем, немножко меньше, а здесь больше.

Лектор. Примем как сведению пока только два каких-нибудь противоположных направления: например, переднюю и заднюю сторону сочленения. Как вы думаете, могут ли мышцы, лежащие на этих противоположных сторонах, работать согласно или они суть антагонисты, напряжение которых ведет к прямо противоположным последствиям?

Слушатели. Наверное, они работают наоборот.

Лектор. В этом все и дело; что же может получиться при их совместном действии, кроме неподвижности? Они могут только тормозить друг друга. Значит, вы имеете перед собой новый способ работы мышц, не такой, как вы обследовали раньше. Теперь, как вы думаете, для чего может понадобиться такое одновременное напряжение прямо противоположных мышц?

Слушатели. Для закрепления сустава.

Лектор. Вот именно. Теперь, может быть, вы разберетесь и в том, почему мы нашли напряженные мышцы в плечевой области при движении и пальцев. Вся суть в ошибочной постановке нашего опыта. Если обследующий старается разжать кулак испытуемого, то с силой тянет его пальцы, — а за пальцами тянется и вся рука. Чтобы не дать сдвинуться всей руке, пальцевые мышцы ничего предпринять не могут; приходится пускать в дело мышцы плеча и плечевого пояса. Следовательно, кисть может отдыхать, когда работает плечо; но плечу приходится работать тогда, когда работает кисть.

Этого мало. Вернемся опять к подсчету моментов. Попросим испытуемого протянуть вперед руку, а я положу на

его ладонь вот эту гирию в 1 кг. Есть ли у кого из вас сантиметр? Измерим расстояние от нашего груза до центров всех сочленений руки. Смотрите: от центра груза до лучезапястного сочленения 9 см; отсюда же до локтевого сочленения 34 см; наконец, до плечевого сочленения 65 см. Значит, момент нашего груза относительно локтя почти вчетверо больше, чем относительно запястья; а по отношению к плечу он и семь раз больше. Итак, если бы даже рука сама ничего не весила, а весил бы только груз, то и в этом случае нагрузка у плеча была бы в семь раз больше, чем у кисти. Мышцы плеча не только загружаются при работе кисти, но загружаются и несколько раз сильнее, чем сами мышцы кисти.

Вот этим-то и объясняется, что плечу приходится иметь усиленное, двойное мышечное оборудование. Оно работает не только за себя, но за всю руку, и в этом последнем случае требует даже больше силы, чем в первом. Поэтому мышцам плеча приходится выполнять обязанности двух родов. Во-первых, они перемещают, поворачивают плечо во всевозможных направлениях, а во-вторых, они закрепляют, как говорят, фиксируют плечо в каждом требуемом направлении. В очень многих случаях эту вторую обязанность фиксации выполняют мышцы длинной, еще пока не описанной группы. Мышцы короткой группы, более слабые, но более юркие, обыкновенно достаточны для поворотов и перестановок плеча. Может быть, переход длинных мышц с костей плечевого пояса на туловище и объясняется необходимостью получить более прочную и более широкую площадь опоры.

Теперь можно перейти к рассмотрению длинной группы мышц плеча. Она включает в себя по анатомическим понятиям три мышцы, а с биомеханической точки зрения по крайней мере пять. Это происходит потому, что дельтовидная мышца очень широка, охватывает плечевую область с трех сторон, и крайние пучки ее обладают совершенно различным, почти противоположным действием. На рис. 34 она изображена в виде целых трех стрелок, 1, 2 и 3.

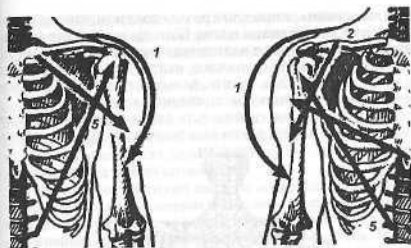


Рис. 34. Направления мышечных тяг длинной группы мышц плеча. 1, 2 и 3 — отдельные пучки дельтовидной мышцы, 4 — большая грудная мышца, 5 — широкая мышца спины

Может быть, не стоит и описывать, как действуют эти три раздельных пучка. Из внимательного рассмотрения рисунка действие это вырисовывается очень ясно. К тому же дельтовидная мышца лежит очень поверхностно, и ее напряжения вы легко можете проверить на самих себе. Очевидно, пучок № 1 есть настоящий разгибатель плеча (в этом он сходится с пучком № 1 короткой группы). Пучки № 2 и 3 длинной группы при совместной работе действуют, как сгибающие, а, работая порознь, могут совершать приведение и отведение, а также ротацию плеча.

О пучках 4 и 5 нужно сказать несколько больше. И тот и другой изображены на рисунке просто стрелками. Но это совершенно условно. В действительности и тот и другой — это очень большие и широкие мышцы. Обе находятся на туловище на очень широкой поверхности, а затем собираются веером к одному небольшому сухожилию и в таком виде срастаются с плечевой костью. Пучок № 4 начинается на всей передней поверхности грудной клетки. Это — большая грудная мышца, которая очень хорошо видна у мускулистых людей.

Если вы помните, в прошлый раз мы доказали, что эта мышца заведует приведением плеча. Если вы попытаете проделать наш обычный опыт над приведением плеча, то эта мышца, а вместе с тем и ее сухожилие, напрягутся и будут хорошо видны под кожей. Как видите, большая грудная мышца образует переднюю стенку подмышечной впадины.

5-й пучок той же группы есть самая широкая из всех мышц тела. Она изображена отдельно на рис. 35. Там видно,

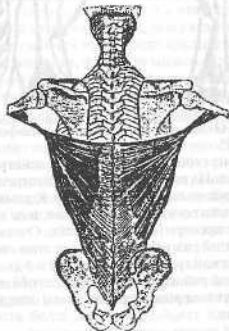


Рис. 35. Положение широких мышц спины обеих сторон и способ их прикрепления к плечевым костям. Все прочие линии — для ясности удалены (по Маллеру)

что она начинается очень низко, от тазовых костей и крестца, а также от поясничных позвонков. Все это огромное полотно огибает спину в направлении снизу вверх и очень узким сухожилием кончается под малым бугром плеча (т. е. впереди). Из названного сейчас рисунка легко понять, как должно действовать эта мышца.

Надо прибавить еще вот что. Все мышцы длинной группы должны бы отличаться от коротких мышц тем свойством, что они оканчиваются на костях туловища, минуя лопатку и ключицу. Между тем для дельтовидной мышцы это не соблюдается; и вы помните, что в начале лекции я и причислял ее анатомически к коротким мышцам. На самом деле приходится понимать дело так, что эта мышца делает только перерыв, остановку на лопатке и ключице; продолжение ее сверху есть не что иное, как верхняя часть трапецевидной мышцы, тянущейся уже до позвонков.

После такого длинного рассказа о мышцах плечевого сочленения описание локтевых мышц покажется пустым делом. Ведь мышц тем более, чем подвижнее сочленение; а локтевое сочленение относится к самым простым, одноосным. По теории мы ожидаем встретить здесь две мышцы и две сухожильные связки. Мышцы должны находиться по обеим сторонам от оси, а сухожильные связки — на концах оси.

Так и происходит. Локтевое сочленение (т. е. сочленение плечевой и локтевой кости) имеет одного сгибателя и одного разгибателя. Сгибатель построен совсем просто: он начинается примерно от середины плеча, а оканчивается на самом верхнем конце локтевой кости, на том выступе, который представляет собою в то же время переднюю закраину ее сочленованной впадины. Разгибатель локтя построен несколько сложнее.

Прикрепляется он к локтевой кости совершенно симметрично со сгибателем на таком же выступе, как и первый. Только этот выступ гораздо легче ощупать, так как он находится на выпуклой стороне локтя. Это есть острие локтя. Нижний конец локтевого разгибателя вздувается под пальцами, приложенными в этом месте, когда вы пробуете разгибать локоть, но удерживаете руку.

Верхний конец разгибателя разделен на целых три головки, из которых только одна оканчивается на плече; остальные две тянутся до лопатки, значит, перекидываются через целых два сочленения. Разгибатель локтя (трехглавый разги-

батель) есть единственная мышца на задней стороне плеча; и локте он совершает разгибание, а в плечевом сочленении может помогать сгибанию плеча.

Тем бы дело и кончилось, если бы рядом с локтевой костью не лежала еще лучевая. Для сгибания этой кости имеет своя особая мышца. Эта мышца почему-то, может быть, по своему поверхностному положению, лучше всех остальных знакома широкой публике. Называется она бицепс, или двуглавая мышца плеча.

Между тем по своему образу действий бицепс есть одна из самых мудреных мышц. Начать с того, что она нигде не связана ни с плечевой, ни с локтевой костью. Начинается она на лопатке и тянется оттуда прямым маршрутом к лучевой кости. Следовательно, она переходит через целых три сочленения (плечевое, плечелоктевое и локтелучевое) и во всех этих сочленениях может вызывать движения. Представьте себе цепочку из четырех члеников, причем между концами двух крайних натянута резинка. Условия взаимной подвижности члеников совершенно различны. Можете ли вы что-нибудь определенное предсказать о том, как будет эта резинка, сокращаясь, менять форму цепочки? Очевидно, этого сделать нельзя. Какую-нибудь определенность здесь можно получить, только если закрепить чем-нибудь другим два сочленения цепочки из трех. Притом определенность будет каждый раз разная — в зависимости от того, которые два сочленения из трех мы закрепим.

Так и происходит с бицепсом. Эта мышца без содействия других, фиксирующих для нее лишние сочленения, совершенно бесполезна. Описать ее действие в изолированном виде никак невозможно. Можно сказать только, что она будет делать, если закрепить два сочленения из тех трех, через которые она проходит, и оставить свободным только третье.

В плечевом сочленении бицепс помогает разгибанию и отчасти приведению. В локтевом он действует, как сгибатель. Наконец, в локтелучевом он представляет собою очень сильный супинатор. Недаром винты и шурупы устроены так,

что их ввинчивание, требующее большой силы, совершается при помощи супинации (так наз. правая нарезка). Механизм этого последнего движения таков: нижний конец бицепса прикреплен к лучу длинным сухожилием, похожим на тесемку. При движении — пронации — это сухожилие наматывается на лучевую кость, как на вал. Для совершения супинации она с силой раскручивает обратно лучевую кость, как намотанная бечевка раскручивает волчок.

Очевидно, сила мышцы тем больше, чем больше ее момент относительно данного сочленения. А момент тем больше, чем больше плечо рычага, т. е. расстояние от точки приложения силы до центра сочленения. Двуглавая мышца проходит всего дальше от центра локтевого сочленения, значит, в роли сгибателя локтя мышца эта сильнее всего. Для разгибания плеча и супинации предплечья она в четыре-пять раз слабее.

Кроме описанных трех мышц, в локтевом сочленении имеются, как уже сказано, две сухожильные растяжки, лежащие по обе стороны от сочленения. Эти растяжки скрепляют [сочлененные кости на концах оси сочленения, а кроме того рванутся вдоль всей плечевой кости наподобие перегородок между сгибателями и разгибателями. На этом примере особенно четко видно, как первоначальный сплошной мышечный рукав выродился в сухожилие там, где ему невозможно было сокращаться.

На предплечьи можно было бы опасаться новой сложной системы мышц, сообразно тем трем степеням подвижности, которые кисть имеет относительно локтевой кости. Но не пугайтесь: другого «плечевого сочленения» в человеческой машине нет, и самое трудное все равно осталось позади. На предплечьи мышцы схематизируются очень просто.

Во-первых, на нем лежат три коротенькие мышцы для пронации и супинации. Пронаторов два, супинаторов один. Это естественно, так как супинации могущественно помогает бицепс. Остальные мышцы, управляющих лучезапястным сочленением, всего четыре, и лежат они очень просто.

Запомните только вот что. На нижнем конце плечевой кости по обеим сторонам локтевого сочленения есть два костных выступа. Называются они мышелками: наружный и внутренний мыщелок. Запомнить вам надо вот что: все сгибатели нижнего отдела руки начинаются со стороны внутреннего мышелка; все разгибатели — со стороны наружного мышелка.

В свою очередь, у кисти руки приходится различать лучевой и локтевой край. Лучевой край, как и лучевая кость, находится со стороны большого пальца, локтевой край и локтевая кость — со стороны мизинца. Так вот четыре мышцы, движущие кистью, можно разделить попарно двумя способами. Во-первых, две из них суть сгибатели кисти и начинаются от внутреннего мышелка, а две — разгибатели — от наружного. Во-вторых, две из этих мышц тянутся к лучевому краю кисти, а две к локтевому краю.

Итак, четверка будет такая: (обозначения на рис. 36):

локтевой сгибатель кисти	2
лучевой сгибатель кисти	1
локтевой разгибатель кисти	5
лучевой разгибатель кисти	3,4

Все это изображено схематически на рис. 36. Теперь образите, что произойдет, если сократятся оба сгибателя, т. е. № 2 и 1?

Слушатели. Будет сгибание кисти.

Лектор. Если сократятся оба разгибателя, т. е. № 5 и 3—4?

Слушатели. Разгибание кисти.

Лектор. Это понятно. Теперь — если сократятся обе локтевые мышцы, т. е. № 2 и 5, а обе лучевые, 1 и 3—4, растянутся? Вас затрудняет вопрос? Ну, что будет, если локтевой край кисти будет подтягиваться к предплечью, а лучевой край будет, наоборот, отходить от предплечья? Вы показываете совершенно верно; как же называется это движение?

Слушатели. Приведение кисти?

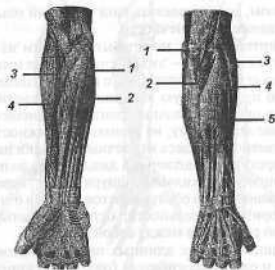


Рис. 36. Мышцы, заведующие движением запястья (кости).

Л с кия сторона — вид правого предплечья с локтевой стороны — тот же вид с тыльной стороны. 1 — лучевой сгибатель, 2 — локтевой сгибатель, 3 — лучевой разгибатель, 4 — локтевой разгибатель (по Молшеру).

Лектор. Хорошо; следовательно, если те же мышцы будут сокращаться обратным порядком, то получится отведение кисти. Понятно это?

Слушатели. Понятно.

Лектор. Итак, лучезапястное сочленение обслужено нашими четырьмя мышцами полностью. Остается показать вам, где в действительности лежат эти мышцы и их сухожилия. Вы все знаете, что предплечье суживается к нижнему концу: это оттого, что на нижнем конце предплечья вообще нет никаких мышц, одни только тоненькие сухожилия. Вот сухожилия обоих разгибателей кисти можно легко увидеть у основания кисти, если препятствовать испытуемому разгибать ее. Они выступают тогда, как два крепких шнура, по бокам кисти. То же относится к обоим сгибателям. Брюшки всех этих мышц расположены наискось, потому что начинаются они близ мышелков плечевой кости, лежащих по бокам. У человека с развитой мускулатурой они видны даже

просто глазом, если проделать наш обычный опыт с задерживанием движения конечности.

Самое интересное и, может быть, многим из вас неизвестное обстоятельство — это то, что почти все мышцы пальцев тоже лежат на предплечьи, в его верхнем конце. Это имеет большую практическую выгоду. На кисти остаются только одни орудия — пальцы; двигатели помещены в отдалении и, благодаря этому, не мешают подвижности кисти и не задерживают ее. И здесь мышечные брюшки начинаются уже близ середины предплечья, а дальше вниз до пальцев тянутся длинные сухожильные шнуры, как передаточные ремни. Большой палец обслуживается особо, и о его мышцах лучше говорить в отдельности; остальные четыре пальца имеют тесно связанные между собой мышцы.

Все мышцы четырех длинных пальцев состоят из двух сгибателей и одного разгибателя (рис. 37). Начинаются они на предплечьи и отчасти на нижнем конце плеча в компании со сгибателями и разгибателями кисти на соответствующих мышелках. Сухожилия разгибателя тянутся по тыльной стороне кисти до самых пальцев. Каждый видел их у себя много раз. Сухожилия сгибателей идут сложнее. Дело в том, что один сгибатель лежит на предплечьи глубже, чем другой, и каждый посылает сухожилия ко всем четырем пальцам. Значит, каждый палец получает два шнура, идущих один под другим по ладонной стороне. Шнуры поверхностного сгибателя кончаются на средних фалангах пальцев. Шнуры глубокого доходят до самых ногтевых фаланг, и для этого им приходится пролезать под соответствующими сухожилиями поверхностного сгибателя, которые для этого случая на концах раздвоены, как вилочки. Но не следует думать, что глубокий сгибатель сгибает одну только ногтевую фалангу, а поверхностный сгибатель — одну только среднюю фалангу. Наоборот, вы знаете, что сгибать отдельно одну только ногтевую фалангу, не сгибая остальных, мы совсем не умеем. Надо помнить, что мышца движет все те сочленения, через которые она проходит. Следовательно, глубокий сгибатель паль-

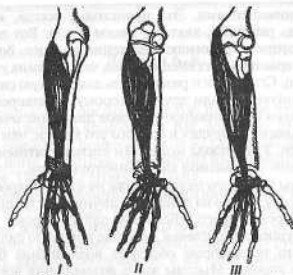


Рис. 37. Мышцы, управляющие движением пальцев.

I — разгибатель пальцев, II — глубокий сгибатель, III — поверхностный сгибатель (по Моллиеру)

цев сгибает кисть и все сочленения пальцев, т. е. сжимает руку в кулак. Поверхностный сгибатель сгибает все те же сочленения, кроме только последних сочленений пальцев.

Я не буду подробно рассказывать вам о тех мышцах, которые лежат на самой кисти руки. Эти мышцы очень маленькие и слабые, и употребляются они только при очень тонких пальцевых работах, например, при рисовании, игре на музыкальных инструментах, да и то всегда совместно с длинными мышцами. Вам ничего не даст знание тонкостей распределения этих мышц; гораздо важнее будет отметить один общий принцип. Я сказал уже, что длинные мышцы пальцев проходят через очень много суставов. Значит, к ним в еще большей степени применимо то, что я вам рассказывал о бицепсе. По отношению к пальцам я бы сказал это так: сгибатели пальцев сгибают, а разгибатель разгибает все те сочленения из числа подведомственных им, которые не закреплены какой-либо другой мышцей или посторонней силой. Нам приходится приводить пальцы и кисть постоянно в соприкосновение с

посторонними силами. Это происходит всегда, когда мы что-нибудь работаем, хватаем, несем и т. д. Вот почему та форма, которую принимают движения пальцев, больше зависит от характера этих внешних сил, чем от самих участвующих мышц. Сгибатели и разгибатели дают сырую силу, грубо направленную в ту или другую сторону. Претворение этой силы в тонко обработанное трудовое движение очень часто больше зависит от орудия и способа его хватки, чем от самих мышц руки. Уже отсюда может вам стать понятным громадное значение правильной хватки инструментов.

Мышцы большого пальца я тоже не стану подробно описывать, укажу только на главные отличия их от мышц прочих пальцев. Прежде всего в большом пальце, кроме длинных мышц, идущих с предплечья, есть еще довольно сильные короткие: это те, которые образуют возвышение большого пальца на ладони. Мышцы этого возвышения все так или иначе сгибают большой палец; потому в числе длинных мышц у него только один сгибатель и целых два разгибателя. Второе отличие состоит в том, что пястная кость большого пальца (та, что скрыта в мякоти ладони) может совершать два рода движений по двум степеням своей подвижности. Этим она отличается от пястных костей остальных пальцев, которые почти неподвижны. Поэтому она обслужена собственным штатом мышц; среди них-то и состоят один из длинных разгибателей и некоторые из коротких сгибателей. Все это обеспечивает большому пальцу значительную и разнообразную подвижность.

Этим данными мы заканчиваем обзор мышц руки. Он был поневоле очень поверхностен; но я не могу желать большего, чем того, чтобы вы хотя бы сколько-нибудь ориентировались в распределении и способах действия двигателей верхних конечностей. Более подробный обзор мышц руки и образа их действия вы сможете найти в моей книге «Общая биомеханика». Нижнюю же конечность, которая, кстати сказать, гораздо проще, мы по недостатку времени отложим до следующей лекции.

Лекция 6-я

Товарищи! Мы посвятили целую прошлую лекцию разбору мышц верхней конечности. Вас, вероятно, путает предвидение еще одной поневоле такой же скучноватой лекции о мышцах ноги; но, по счастью, с ногою мы разделаемся гораздо скорее. Причины этому вот какие.

Во-первых, вы помните, что верхний или плечевой пояс подвешен полностью на мышцах. Этих закрепляющих мышц там довольно много, и мы потратили на них порядочное внимания и времени. В противоположность руке тазовый пояс есть жесткое сооружение, и ни одна мышца не занята специально тем, чтобы закреплять его.

Во-вторых, нашу задачу описания ножных мышц сильно облегчает то обстоятельство, что нога и рука очень похожи между собой. Отчасти мы намекали на это уже в первой лекции. Помните? Как в той, так и в другой верхней отрезок образован одной костью, средний — двумя, а краевой — кисточкою, оканчивающейся пятью пальцами. Расположения сочленений на руке и на ноге тоже очень похожи: на самом верху шаровое трехосное сочленение, следом за ним кнаружи одноосное; между средним и краевым звеньями двухосное сочленение; наконец, еще одна степень подвижности где-то на протяжении среднего звена (пронация и супинация предплечья, вращение голени вокруг продольной оси внутрь и наружу). Более того, если бы вы вздумали сравнить между собой формы соответствующих костей руки и ноги, то вы и тут усмотрели бы порядочное сходство. Все эти сходные черты заставляют нас задать себе вопрос: а нет ли такого же близкого сходства и между мышцами верхней и нижней конечностей?

Если вы заглянете в анатомический атлас, то, увы, там почти никакого подобия не обнаружится. Вам покажется,

что ножные мышцы смонтированы по совершенно новому плану, в котором трудно подыскать какие-нибудь уже знакомые черты. Особенно сбивают с толку мышцы таза и тазобедренного сочленения. Эти мышцы очень мучительны для студентов-медиков, потому что их много, расположены они под разными углами друг к другу, всячески пересекаются и скрещиваются, и, в конце концов, непонятно, для чего служат. Но погодите приходить в отчаяние.

Ничего нет мудреного, что вы не обнаруживаете единства плана у человека. Слишком различны у него назначения верхних и нижних конечностей, слишком различны механические задачи, которые им приходится разрешить. Если здесь и был когда-либо общий план, то он давно и неминуемо должен был затухать, извратиться из-за изменившихся условий. А вот обратимся к тем позвоночным животным, у которых обе пары конечностей несут приблизительно одинаковые обязанности, и посмотрим, не будет ли общий план яснее именно у них.

Прежде всего разберемся еще раз в костях и посмотрим, что чему соответствует в плечевом и тазовом поясе. Лопатка, как вы, можете быть, помните, состоит из двух частей: к позвоночнику, т. е. к спинной стороне, обращена пластина, а к брюшной стороне подвернуты два стерженька; ключичный и клювовидный отросток (рис. 38). Каждая из тазовых костей



Рис. 38. Вид правой лопатки снизу

построена так же точно: к спинной стороне обращена пластина, а к брюшной два стерженька. Эти стерженьки называются в тазу лобковыми и седалищными частями. И в лопатке и в тазу сочленовная впадина, к которой присоединяется верхняя кость конечности, лежит в промежутке между обоими стерженьками.

Кроме того, не забудьте еще одной вещи, о которой тоже упоминалось в первой лекции. Я имею в виду то, что передняя и задняя конечности обращены друг к другу. Все это вы очень хорошо разглядите на рис. 39. Все то, что в передней конечности глядит назад, то в задней конечности, напротив, глядит вперед. Сравните, например, локоть и колено, направления плечевой и бедренной костей и т. д. на нашем рисунке, изображающем скелет собаки.

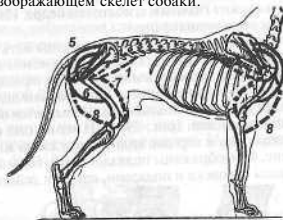


Рис. 39. Схема, изображающая расположение мышц передней и задней конечностей четвероногого млекопитающего.

Соответствующие мышцы нарисованы одинаковыми пунктирами и помечены одинаковыми номерами

Начнем сравнение мышц обеих конечностей. Тот рисунок, что я показал вам сейчас, должен сразу вас несколько успокоить. Посмотрите, какая громадная симметрия существует между мышцами той и другой конечности. Нарисунке соответствующие друг другу мышцы нарисованы одинаковыми пунктирами и помечены одинаковыми номерами.

В верхней части конечности мы разделили мышцы плечевого сочленения на две группы, коротких и длинных мышц. Такие же группы можно бы наметить и около тазобедренного сочленения. Одна из длинных мышц плеча (широкая мышца спины) начинается далеко назад от позвоночника и тянется вперед к головке плеча (точнее говоря, к малому бугру). Точно такого же типа мышца есть и около тазобедренного сочленения: она начинается на позвоночнике далеко впереди и тянется назад опять-таки к головке бедра (точнее — к бугру, называемому малым вертелом бедра). На нашем рисунке эта мышца имеет № 1. Сходство той и другой доходит до того, что у каждой из них есть по придатку, начинающемуся от пластин лопатки и тазовой кости (№ 2). Описанная нами сейчас мышца носит название пояснично-подвздошной мышцы и служит главным сгибателем бедра. Из рисунка совершенно ясно ее назначение.

Как и в плечевой области, у этой мышцы есть противник — антагонист. На плече таким антагонистом является дельтовидная мышца; здесь эта мышца лежит на задней стороне таза, имеет громадный размер (еще больше дельтовидной) и работает как разгибатель бедра. Называется она большая седалищная мышца, (рис. 39, 6) Именно она образует округлость седалища и хорошо видна снаружи на живом человеке. На рис. 40 изображены подвздошная и большая седалищная мышцы человека и показано, как они действуют.

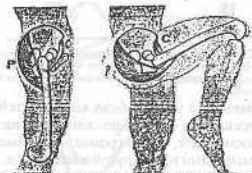


Рис. 40. Сгибатели (С) и разгибатели (Р) тазобедренного сочленения и их действие (по Моллиеру)

Для большой грудной мышцы тоже есть своя соответствующая мышца в тазовом поясе, но там она очень мала и для нас с вами не имеет значения: мы ее и оставим без внимания. Зато короткие мышцы плечевого сочленения отображены в тазу очень картинно и имеют первостепенную важность.

Может быть, вы помните, что от нижней части лопаточной пластины тянулась к большому бугру плеча мышца, называемая подостною. Анатомы различают здесь даже целых две сливающиеся между собой мышцы (на рис. 39 № 3 и 4). В тазу соответствующие мышцы (тоже № 3 и 4) тянутся тем же порядком от тазовой пластины к большому вертелу бедренной кости. Обе эти мышцы — средняя и малая седалищные — поднимают бедро в сторону. На рис. 41 изображены эти мышцы у человека.

Наконец, небольшая клювовидная мышца плеча (от клювовидного отростка лопатки к внутренней поверхности плеча) превратилась в нижней конечности в громадный пакет мышц, которые соединяют лобковую часть таза с внутренней стороной бедренной кости. Весь этот пакет имеет название приводящих мышц бедра; название, конечно, неправильное, потому что на самом деле они не приводят бедро, а только опускают его снаружи внутрь. И эти мышцы хорошо видны на рис. 41.

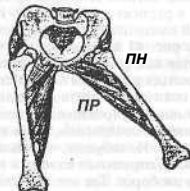


Рис. 41. Мышцы, поднимающие бедро наружу (ПН) и «приводящие» мышцы бедра (ПР) (по Моллиеру)

Мы оставляем без внимания мышечную мелочь, которой в тазу порядочно; но и ее можно было бы без труда привести в соответствие с мышцами плеча. Мы лучше сделаем сводку тех четырех важнейших групп, которые мы пока что обнаружили кругом тазобедренного сочленения:

1. Подвздошная мышца — сгибание бедра.
2. Большая седалищная — разгибание.
3. Средняя и малая седалищная — поднимание бедра наружу.
4. Приводящие мышцы — опускание бедра внутрь.

Заметим к слову, что на самом деле действие этих механических групп совсем не так просто и однородно, как здесь описано. Очень многое зависит от исходного положения бедра, взаимодействия разных мышечных групп и т. д. В общем можно сказать, что наши четыре основные группы могут двигать бедро по всевозможным направлениям в границах его подвижности. Мелкие, не описанные нами мышцы, отчасти помогая главным, заведуют в то же время вращениями бедра вокруг его собственной продольной оси.

Разберем еще, почему в тазовом поясе так велика и сильна группа приводящих мышц. Здесь секрет все в тех же свойствах арки, о которых мы говорили не раз. Тяжесть тела давит на таз с середины, а точки опоры у него по сторонам. Значит, таз вместе с обеими ногами есть тоже арка и, как таковая, нуждается внизу в растяжке. Между тем, конечно, связать ноги между собой внизу нельзя; приходится сооружать растяжку иначе. Из рис. 41 хорошо видно, что приводящие мышцы и являются как раз требуемой растяжкой. Они не дают ногам разехаться в стороны под действием тела; и момент их для этой цели должен быть довольно велик.

Перейдем к мышцам, управляющим коленным сочленением. Как и в локтевом сочленении, здесь имеется всего две группы антагонистов. Не забудьте, что мышца, сидящая на плече сзади, должна отразиться на ноге в виде мышцы, сидящей спереди, и наоборот. Так вот, трехглавому разгибателю локтя в точности соответствует на ноге четырехглавый разгибатель колена (рис. 39, № 7). Как и там, длинная голов-

ка переходит и через шаровое (тазобедренное) сочленение. Короткие головки обрастают бедренную кость со всех сторон. Только коротких головок здесь не две, а целых три.

Есть еще одна замечательная разница между локтевым и коленным разгибателями. Локтевой разгибатель кончается внизу на длинном крюке локтевой кости. У коленного разгибателя такой же крюк как бы оторвался от большой берцовой кости и повис в середине мышечного сухожилия, прямо над коленным сочленением. Это есть косточка, которую называют коленной чашечкой. Как видите, коленная чашка не есть самостоятельная кость, а своего рода костная мозоль, развивавшаяся в сухожилии, там, где оно огибает сочленение и трется о него.

Интересно добавить, что разгибатель колена в общем слишком короток. Его хватает на одно сочленение, но обслуживать оба сочленения, через которые он проходит, без взаимной помехи ему не всегда удастся. Попробуйте согнуть ногу в колене, а затем разгибать ее же в тазобедренном сочленении. Когда дойдете до такого положения, дальше которого бедро у вас не идет, распрямите колено, и вы увидите, что сейчас же разгибание бедра можно будет продолжить еще градусов на 15. Вы ослабили натяжение вашей мышцы в колене, и только тогда она предоставила вам свободу действия в тазобедренном сочленении.

На противоположной, сгибательной стороне бедра и колена лежат не две (как в верхней конечности), а целых три сгибательные мышцы. Одна из них (помеченная на рис. 39 № 8) в точности соответствует бицепсу, или двуглавой мышце плеча, и даже название имеет такое же: бицепс, или двуглавая мышца бедра. Та прикреплялась к лучевой кости, эта — к малой берцовой. Начинается ножной бицепс частью от таза. Действие его понятно само собой.

Вместо одной внутренней плечевой мышцы на бедре сидит целых две. Начинаются они обе от того же седалищного бугра, что и длинная головка бицепса, а снизу расходятся от него вилкой к внутреннему краю большой берцовой кости.

Бицепс бедра и кусок четырехглавого разгибателя показаны на рис. 42.



Рис. 42. Двуглавый сгибатель колена (А) и разгибатель колена (В) (по Моллиеру)

И сгибатели колена тоже несколько коротки. Здесь это еще заметнее, чем на разгибателе. Опять проделаем опыт, на этот раз наоборот. Выпрямите колено и поднимайте ногу вперед, т. е. сгибайте бедро. Когда дойдете до предела и почувствуете характерную боль в подколенной ямке, согните колено. Тотчас же боли как не бывало, и бедро можно будет согнуть еще градусов на 45, а то и больше. Причина этому опять та же: недостаточная растяжимость мышц; а почему она так действует, попробуйте объяснить сами.

На голени сходство мышцы с мышцами предплечья сильно затусовано даже у четвероногих. Поэтому мы покинем нашу схему, столько раз нам помогавшую, и постараемся рассказать о мышцах голени коротко и ясно без всяких сравнений.

624

На голени замечательна одна вещь. Усажена она с нескольких сторон жиденькими, слабыми мышцами, которые легко устают и не могут нести серьезной работы. И вдруг рядом с этими чахлыми мышцами горой возвышается одна большая и исключительно сильная, которая заведует разгибанием стопы.

В чем тут дело? Почему именно разгибание стопы получило такие несоразмерные привилегии? Почему именно здесь воздвигнута мышца-гигант рядом с мышцами-карликами?

Причина, по всей вероятности, в том, что только эта тяжеловесная мышца выполняет постоянную и ответственную работу. Остальные помещены как будто только для формы, потому что надо же обеспечить стопе активную подвижность по тем направлениям, которые предоставлены ей устройством голеностопных сочленений. Работать же им приходится редко и мало.

Великан, о котором я сейчас сказал, есть икроножная мышца — то, что в просторечии называют икрами. Эта мышца лежит на задней стороне голени и начинается как от костей голени, так и от нижних концов бедра. Местом прикрепления ее внизу служит огромный рычаг, образуемый далеко выдающейся назад пяточной костью. Сказать к слову, и плечи рычагов остальных мышц голени так же не велики, как сами мышцы.

Рис. 43 ответит вам на то, какую роль играет икроножная мышца при стоянии. Вы видите, что в большинстве случаев голени, а иногда и бедра, наклонены немножко вперед. Центр тяжести туловища (а что это такое и как его найти, мы скажем еще сегодня) оказывается немного впереди от обоих голеностопных сочленений. Поэтому нормальное положение вещей таково, что все тело стремится завалиться вперед. Этому-то заваливанию и препятствуют икроножные мышцы. Ведь при падении вперед произошло бы сгибание стоп в голеностопных сочленениях, и потому икроножная мышца,

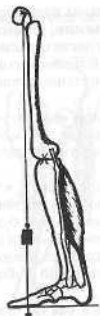


Рис. 43. Икроножная мышца и ее роль при стоянии (по Маллиеру)

действуя как разгибатель стопы, препятствует падению и уравнивает тело в стоячем положении.

Еще важнее роль икроножной мышцы при ходьбе, а также беге, прыжке и т. д. Последите за собою сами, и вы увидите, что все эти движения совершаются за счет отталкивания ногой от земли, т. е. за счет разгибания стопы. Я прибавлю еще, что не только начало, но и конец прыжка, конец каждого шага при ходьбе и беге сильнейшим образом зависят от деятельности икроножной мышцы. В этих случаях она действует, как рессора, смягчая и ослабляя всякого рода толчки. Очень посоветую вам спросить у кондуктора автобуса, что у него к вечеру болит больше всего? Рессорная роль требует от заведующей этим делом мышцы особого постоянства и неутомимости; поэтому-то икроножная мышца и является такой сильной и так выгодно поставленной. Это прекрасный работник, и человек непременно использует его

везде, где только это возможно. Девушки, нажимающие не pedal велосипеда серединой стопы, а не носком (таких сейчас в Москве много), поступают совершенно безграмотно. Во всех работах педалями необходимо приспосабливать для работы икроножную мышцу. Добавлю еще, что pedal ножных швейных машин также глубоко безграмотна биомеханически, так как ось ее проходит посередине и вынуждает пользоваться не только разгибателем, но и сгибателями стопы, отчего нога неизбежно скоро устает.

Нам не придется разбирать в отдельности мелкие мышцы голени: они не имеют для нас большого значения. Укажу только, что некоторое сходство с мышцами предплечья сохраняется и здесь. Как и на предплечьи, четыре мышцы, расставленные по углам, обеспечивают двухосному сочленению между голенью и стопой его подвижность. Как и на предплечьи, мышцы пальцев ноги лежат в значительной части на голени. Конечно, пронаторов и супинаторов на голени уже нет. Но, кроме того, мышцы ногных пальцев получают гораздо более сильное подкрепление на самой стопе, нежели мышцы ручных пальцев имеют на ладони. Нижняя сторона стопы выстлана целой подушкой из таких мышц, играющей немалую роль в поддержании эластичности стопы.

Если знакомство с ручными мышцами нужно было нам для того, чтобы осмыслить руку как рабочий орган, то интерес наш к мышцам ноги определяется другим. При изучении трудовых процессов нога интересует нас в первую очередь как опора тела; как говорят иногда, в ноге нам важна не столько динамика, сколько статика. Но вот для того, чтобы обозреть ногные мышцы и их назначение с этой точки зрения, нам надо сперва познакомиться с основными понятиями равновесия человеческого тела и его частей.

Начнем с изучения центров тяжести человеческого тела и отдельных его звеньев. Основное свойство центра тяжести какого-нибудь тела, как известно, таково: это есть точка, через которую проходит при всех возможных положениях данного тела равнодействующая силы тяжести. Боюсь, что такое

определение для вас не совсем понятно. Подойдем к нему несколько со стороны.

Возьмем велосипедное колесо, сидящее на своей оси. Приподнимем слегка велосипед и посмотрим, что делается с колесом. Как вы видите, оно очень медленно начинает поворачиваться, совершает некоторый размах, потом пускается в обратную сторону и продолжает совершать все ослабевающие качания в ту и в другую сторону, пока, наконец, не успокоится совсем. Отчего колесо пришло в движение?

Слушатели. Может быть, в начале был толчок?

Лектор. Может быть. Давайте проверим. Вот я поднимаю велосипед очень осторожно, придерживая колесо рукой. Теперь, уже поднявши, я осторожно отнимаю руку от колеса: оно тот час же начинает качаться. Всмотритесь в колесо внимательнее. Оно не вполне симметрично: на одной стороне его находится металлический вентиль, через который накачивают шину. У меня с собой есть другой отломанный вентиль. Я привяжу его к колесу на прямо противоположной стороне. Теперь повторим опыт: вы видите, колесо и не думает качаться.

Вот у нас есть небольшая совокупность наблюдений; разберем их механически. Колесо велосипеда, как и всякое тело, имеет вес, значит, оно стремится падать вниз. Такое стремление вниз свойственно, конечно, и всякой отдельной частице колеса. Однако в нашем втором опыте ни все колесо в целом, ни одна из его частиц не опускаются вниз — следовательно, что-то их удерживает. Посмотрим, могут ли все частицы колеса одновременно опускаться вниз? Очевидно, нет, так как мы удерживаем колесо на определенной высоте за его ось. Значит, неизбежно, если одни из частиц будут опускаться вниз, другие должны будут подниматься вверх.

Вы знаете, что работа измеряется произведением груза на перемену высоты этого груза. Единицей работы мы считаем килограмметр, т. е. работу, затрачиваемую при поднятии одного килограмма на один метр. Если тот же килограмм опустится на метр, то он возвратит такую же порцию работы.

Повернем на некоторый угол наше колесо. Одни его частицы поднялись, т. е. поглотили работу, другие частицы опустились, т. е. отдали работу. Если работа всех частиц, которые поднялись, в точности равна общей работе всех частиц, которые опустились, то, значит, работа колеса в целом есть нуль. А так как движение под действием силы всегда сопровождается настоящей, не нулевой работой, то значит — на движение нашего колеса никакие силы не действовали. Следовательно, колесо находится в равновесии.

Итак, равновесие имеет место тогда (и только тогда), когда общая работа тела при небольшом смещении равна нулю. В случае симметричного колеса это правило проявляется особенно просто. Против каждой из его частиц по другую сторону оси лежит на таком же расстоянии другая, равная ей, которая всегда совершает как раз противоположные движения с первой частицей. Работа каждой такой пары при неподвижной оси всегда равна нулю.

В колесе с одним вентилем он один только без пары, и поэтому сила тяжести действует на него и заставляет отдавать работу. Достаточно и ему пристроить пару, чтобы все уравновесилось вновь.

Каковы же условия, требующиеся для того, чтобы пара точек была в равновесии? Мы знаем, что для этого работы, совершаемые ими при любом смещении, должны быть постоянно равны и взаимно противоположны. Ясно, что чем точка ближе к оси вращения, тем меньшие перемещения вверх и вниз она может совершать. А так как работа — это произведение груза на вертикальное перемещение, то для сохранения постоянства этого произведения надо делать первый сомножитель его (груз) тем меньше, чем меньше второй сомножитель (т. е. чем меньше радиус). Мы знаем, что произведение груза на радиус есть момент груза; значит, для равновесия требуется, чтобы моменты обеих точек нашей пары были равны и противоположны.

Обратимся теперь к случаю, когда требуется уравновесить не две точки, а три или больше зарез. Здесь рассуждение

будет такое же точно. Вы уже видели, что когда момент даже маленькой группы частиц, сосредоточенных в вентиле, отличался от нуля, тотчас же этот момент начинал совершать работу, и колесо приходило в движение. Отсюда делаем такой вывод: для того, чтобы имело место равновесие тела, насаженного на ось, необходимо, чтобы совокупный момент всех частиц тела относительно этой оси равнялся нулю. Та точка тела, относительно которой совокупный момент всех частиц равен нулю, и есть центр тяжести тела.

Вам понятно, что тело, которое поддерживается нами за центр тяжести и потому пребывает в равновесии, все же не теряет ни одной доли своего веса. Если колесо весит 1 кг, то вся эта тяжесть 1 кг давит через ось на точки ее опоры. Это значит прежде всего то, что действие тяжести всех отдельных частиц тела можно как бы заменить действием одной-единственной силы, которая равна весу нашего тела и приложена к центру тяжести тела. Попробуем теперь подпереть тело в какой-нибудь другой точке в стороне от центра тяжести. По-прежнему равнодействующая тяжести нашего тела будет приложена в центре тяжести, но на этот раз точка ее приложения окажется уже в стороне от точки опоры. Следовательно, на этот раз сила тяжести будет иметь определенный момент. Пусть, например, тяжесть тела есть 1 кг, а расстояние от центра тяжести до точки опоры — 0,1 м (10 см). Момент тяжести составит в этом случае 0,1 килограммометра, и именно этот момент определит собой движение нашего неуравновешенного предмета.

Покончим теперь с отвлеченными рассуждениями и попробуем применить наши выводы к биомеханике. Вообразите, что мы закрепили в пространстве плечо, а предплечье может свободно совершать качания вокруг оси локтевого сочленения. Какова должна быть сила мышц, движущих предплечье, для того, чтобы уравновесить его или сдвинуть с места? Ответить на это можно только в том случае, если знать вес предплечья и положение центра его тяжести.

Не буду рассказывать вам, каким образом ученые определили эти веса и положения. Практически вам следует иметь понятие о самых значениях этих весов и расположений. Однако, чтобы дать вам понятие о способах такого рода определений, я расскажу об одной из старых работ, посвященных определению положения центра тяжести всего тела в целом.

Человека нормального телосложения клали на деревянную доску в спокойном положении. Потом под эту доску клали брусок, заостренный сверху, на котором доска могла покачиваться, как качели. Передвигая брусок вперед и назад, добивались такого положения, при котором доска с лежащим на ней человеком оказывалась в точности в равновесии. Положение бруска зарисовывали после этого на доске. Затем брусок поворачивали под прямым углом и снова искали положения равновесия тем же порядком. Точка пересечения обоих найденных положений бруска приходилась, очевидно, как раз под общим центром тяжести человеческого тела и доски. Зная положение центра тяжести доски, можно было без труда подсчитать положение центра тяжести одного только тела.

Прежде всего дам вам представление о средних значениях веса отдельных звеньев человеческого тела. Эти значения подсчитаны для человека нормального телосложения, весящего 60 кг. Если кто предпочитает пуды и фунты, пусть пересчитает сам.

	Названия звеньев	Вес звеньев, кг	Отношение весов звеньев к весу тела
1	Голова	4,236	0,0706
2	Туловище	25,620	0,4270
3	Бедро	6,948	0,1158
4	Голень	3,162	0,0527
5	Стопа	1,074	0,0179
6	Плечо	2,016	0,0336
7	Предплечье	1,368	0,0228

	Названия звеньев	Веса звеньев, кг	Отношение весов звеньев к весу тела
8	Кисть	0,504	0,0084
9	Голова + туловище	29,856	0,4976
10	Голень + стопа	4,236	0,0706
11	Вся нога	11,184	0,1864
12	Предплечье + кисть	1,872	0,0312
13	Вся рука	3,888	0,0647
14	Обе ноги	22,368	0,3728
15	Обе руки	7,776	0,1296
16	Туловище + голова + обе руки	37,632	0,6272
17	Все тело	60,000	1,0000

Теперь можно перейти к вопросу о том, как именно расположены центры тяжести всех этих звеньев внутри них. Здесь мы встречаемся с некоторыми затруднениями. Во-первых, центр тяжести каждого звена, например плеча или предплечья, не сидит в точности на одном месте. Ведь мышцы и кожа не неподвижны, а немножко смещаются, следовательно, смещается и центр тяжести. Во-вторых, определить на живом человеке, где у него лежит центр тяжести плеча или голени, невозможно; а если определить эти положения каким-нибудь косвенным образом (например, на трупe) раз навсегда, то кто поручится, что эти измерения подойдут ко всякому живому человеку? По счастью, для нас не требуется особой точности, а если отвечать на вопрос приблизительно, то эти мелкие уклонения не имеют особого значения. В качестве нескольких удобных запоминаемых правил укажу вам вот какие положения.

Если вы проведете мысленно прямые линии вдоль каждого из длинных звеньев (т. е. вдоль плеча, предплечья, бедра и голени) так, чтобы эти линии проходили через центры обоих пограничных сочленений данного звена, то окажется следующее. Во-первых, во всех этих звеньях центры тяжести ле-

жат на проведенных вами линиях, которые мы назовем осями звеньев. Во-вторых, расстояния этих центров тяжести от центров пограничных сочленений относятся между собою во всех случаях приблизительно, как 4 : 5. Постоянно к центральному сочленению центр тяжести лежит немного ближе, чем к дальнему.

С кистью и стопой дело обстоит тоже довольно благополучно. Если за ось стопы считать прямую, проходящую от конца пяточного бугра к концу второго пальца, то центр тяжести стопы лежит на этой оси и делит ее на части опять-таки приблизительно в отношении 4 : 5. Что касается кисти, то вследствие ее подвижности центр ее тяжести постоянно сильно блуждает, поэтому для него нельзя указать постоянного места жительства. По счастью, вес кисти очень мал (1 кг), и потому свободно можно отвлечься от всех ее мелких движений. Если для приближения вообразить себе кисть неподвижно связанной с предплечьем, то можно удовлетвориться знанием положения центра тяжести обоих этих звеньев вместе взятых. Для этого продолжим ось предплечья дальше, до кончиков пальцев. Общий центр тяжести предплечья и кисти лежит тогда (опять-таки, конечно, приблизительно) на этой оси и расположен вдвое ближе к лучезапястному сочленению, чем к локтевому.

Гораздо труднее определить положение центра тяжести туловища: очень уж оно гибко и постоянно меняет свою форму. Мы наметим место центра тяжести туловища при спокойном стоячем положении. В этом положении центр тяжести отыщется так. Проведите горизонтальные прямые линии, соединяющие между собою соответственно оба плечевых и оба тазобедренных сочленения. Расстояние между серединами этих прямых разделите опять-таки в отношении 4 : 5 (так, чтобы верхний отрезок соответствовал 4, а нижний 5). Тогда место раздела будет искомым центром тяжести. Наконец, центр тяжести головы лежит внутри черепа, немного повыше линии, соединяющей оба ушные отверстия.

Все эти данные и приемы, может быть, лучше закрепятся в вашем воображении, если вы внимательно рассмотрите рис. 44. На этом рисунке изображена человеческая фигура спереди. Вся площадь рисунка разделена на мелкие клетки, которые соответствуют одному сантиметру натуральной величины каждая. Положения всех тех центров тяжести, о которых сейчас говорилось, нанесены на этом рисунке кружками.

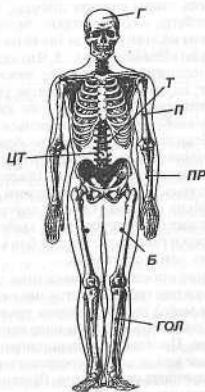


Рис. 44. Схема скелета, показывающая расположение центра тяжести:

Г — нтр тяжести головы,
Т — нтр тяжести туловища,
П — нтр тяжести плеча,
ПР — нтр тяжести предплечья,
Б — нтр тяжести бедра,
гол — нтр тяжести голени,
ПТ — нтр тяжести всего тела (по Р. Фихсу)

Мне придется еще на несколько минут вернуться к теоретической механике. Надо выяснить, как найти центр тяжести системы, состоящей из двух предметов, если известны веса этих предметов и положения центров тяжести в каждом из них. Как ни странно, но эта задача решается гораздо проще, нежели задача отыскания центра тяжести каждого из предметов, взятых в отдельности. Следует только помнить, что центр тяжести тела — это точка, через которую проходит равнодействующая силы тяжести. Иными словами, мы можем считать, что вся тяжесть каждого из наших тел как бы сосредоточена в одной этой точке. Следовательно, задача, которую мы сейчас себе поставили, превращается в другую гораздо более легкую: в задачу нахождения центра тяжести системы, состоящей всего-навсего из двух точек, причем веса и положения обеих точек известны. А эту задачу мы уже решили в сегодняшней лекции. Чем больше груз, тем он ближе должен лежать к центру тяжести; расстояния грузов от центра тяжести обратно пропорциональны самим грузам. Итак, центр тяжести системы, которая состоит из двух весящих точек, находится на одной прямой с обеими этими точками и делит расстояние между ними на отрезки, обратно пропорциональные грузам, сосредоточенным в обеих точках.

Взгляните на рис. 45. На нем схематически изображены сочлененные между собой в локте плечо и предплечье с кистью. Центры их тяжести обозначены соответственно буквами a_1 и a_2 . Центр тяжести всей руки вместе должен лежать на одной прямой с обеими этими точками, т. е. в какой-то точке S . Его расстояния от a_1 и a_2 должны быть обратно пропорциональны с весами плеча и предплечья. (В этом примере мы все время рассматриваем предплечье заодно с кистью.) Итак, отрезок l_1 относится к отрезку l_2 как вес предплечья к весу плеча. Отсюда вытекает очень простой графический прием для определения положения такого совокупного центра тяжести.

Отложите от центра тяжести первого звена, o_1 , в любом направлении отрезок m_1 , изображающий в каких угодно единицах вес второго звена (рис. 45). Из центра тяжести второго

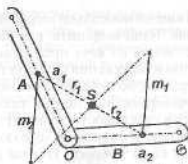


Рис. 45. Центр тяжести двух сочлененных звеньев (S) и способ его нахождения. Центр тяжести A лежит в a_1 , центр тяжести звена B — в a_2 . Пояснения остальным букв и линий — в тексте

звена проведите линию параллельно первой, но в противоположную сторону и на ней отложите в тех же единицах вес первого звена. Затем соедините прямыми линиями, во-первых, центры тяжести обоих звеньев, во-вторых, концы проведенных сейчас весовых отрезков. Точка пересечения обеих этих линий и будет общим центром тяжести S .

Понятно, что этот общий центр тяжести плеча и предплечья не сидит на одном месте, а все время меняет свое положение в зависимости от изменений локтевого угла. Поэтому угнаться за ним довольно трудно. Хорошо, что вам в вашей повседневной практике это, вероятно, никогда и не понадобится. Если я, тем не менее, рассказывал вам об этом способе, то это потому, что он понадобится нам сегодня же для другой несколько неожиданной цели — именно для определения рациональной стойки. Запомните пока, что центр тяжести нашей пары постоянно делит расстояние между центрами тяжести ее частей в одном и том же отношении.

Это свойство центра тяжести системы дало возможность немецкому ученому Фишеру сконструировать модель, с помощью которой можно для всякого положения тела и его частей определить положения центров тяжести каждой такой части и всего тела вместе. Такая модель представлена на рис. 46. Вы видите, что эта модель есть шарнирный человек, снабженный довольно сложной системой рычагов. Эти рыча-

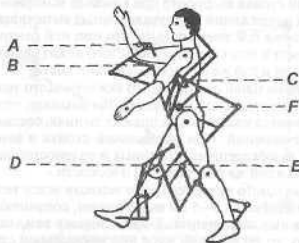


Рис. 46. Шарнирный человек для определения положений центров тяжести. Объяснения в тексте (по О. Фишеру)

чаги устроены так, что места их соединений постоянно указывают положения центров тяжести. Некоторые из соединений обозначены на рис. 46 буквами. A есть положение центра тяжести правой руки, B — положение центра тяжести обеих рук вместе, C — центр тяжести туловища и головы, D — центр тяжести правой ноги, E — центр тяжести обеих ног вместе. Наконец, F отмечает положение центра тяжести всего тела.

Уже из этой модели видно, что центр тяжести всего тела должен очень сильно менять свое положение при движении тела. Было бы очень трудно, не имея в руках модели рис. 46, отдать себе отчет в том, где он находится в каждую данную минуту. Между тем знание его положений и движений, хотя бы приблизительно, могло бы иметь огромное практическое значение. Поэтому я обучу вас, как приблизительно находить эти величины для разных случаев.

Прежде всего условимся, что понимать под так называемой нормальной стойкой. Такая стойка изображена на той самой разграфленной схеме (рис. 44), которую мы сегодня уже рассматривали. Эта стойка более или менее соответству-

ет обычной стойке во фронте при команде «смирно», только без всяких напряжений и преувеличенных выпячиваний груди. Эта стойка тем замечательна, что при ней центры тяжести всех частей тела (кроме только стоп) лежат одни над другими в одной и той же вертикальной плоскости.

При нормальной стойке центр тяжести всего тела лежит тоже в этой центральной плоскости. Вы помните, что центр!.] тяжести звеньев находятся на прямых линиях, соединяющих центры сочленений. При нормальной стойке и центры сочленений тазобедренных, коленных и голеностопных лежат опять-таки в той же центральной плоскости.

У нормального человека центр тяжести всего тела лежит при такой стойке на 4—5 см выше линии, соединяющей оба тазобедренные сочленения. Если я покажу вам, как найти эту линию, то по крайней мере при нормальной стойке вы будете точно знать, где лежит этот центр тяжести. На наружных сторонах бедер, тотчас же под краешками тазовых костей прощупываются под кожей костные выступы. Это суть те самые большие вертела бедер, о которых мы говорили уже в начале лекции и которые изображены на рис. 41. Если вы нащупаете с обеих сторон верхушки больших вертелов и соедините их мысленно прямой линией, то эта линия будет как раз проходить и через центры обоих тазобедренных сочленений.

Вообразите теперь, что человек стал в нормальную стойку, потом придал какое-нибудь новое положение одной руке, не меняя положений ни одной другой части тела. Что произойдет?

Взгляните на рис. 47. На нем опять-таки изображены две точки разного веса A и B общий центр тяжести их S . Представим себе, что A вдесятеро тяжелее B ; тогда центр тяжести S лежит к A в десять раз ближе, чем к B . Пусть теперь A неподвижно, а B переехало в новое место B' . Из нашего рисунка вам вполне ясно, как переместится центр тяжести S . Он перейдет на прямую, соединяющую B' и A , и попрежнему будет вдесятеро ближе к A . Обозначим его новое положение S' . Вы

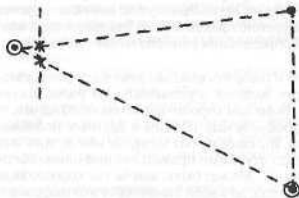


Рис. 47. Смещение центра тяжести, S , двух точек, A и B , из которых одна в 10 раз тяжелее другой.
Объяснение в тексте

видите, что треугольники ABB' и $AS'S'$ подобны между собою, причем стороны первого в одиннадцать раз меньше, чем стороны второго. Поэтому смещение центра тяжести можно описать вот как.

Если одна часть системы остается неподвижной на своем месте, а другая часть смещается в некотором направлении на n см, то:

- 1) центр тяжести системы смещается по направлению, параллельному с направлением, взятым сместившейся частью;
- 2) величина смещения центра тяжести будет во столько раз меньше n см, во сколько раз вес сместившейся части меньше, чем вес всей системы вместе.

Вернемся для иллюстрации к нашему примеру человека, махнувшего рукой. Из таблицы, которую я вам уже приво-
дил, следует, что вес всей руки составляет примерно $\frac{1}{10}$ веса тела. Поэтому, если он сместил центр тяжести своей руки на 16 см в какую-нибудь сторону, то центр тяжести его тела отошел от положения, которое он занимал при нормальной стойке, в ту же сторону на 1 см. Пользуясь этим приемом рассуждения, вы теперь всегда уследите за его блужданиями при несложных движениях.

Из этого в конце концов несложного правила, к которому мы подошли таким окольным путем, вытекает другое правило, уже совершенно практическое. Это новое правило указывает способ определения рациональной стойки при рабочей операции.

Излишне и говорить вам, как много споров сосредоточивается вокруг вопроса о рациональном расположении ног при работе. Всем вам хорошо известны положения, предложенные и предлагаемые ЦИТОм и другими подобными учреждениями. Вы сами не раз задавали мне вопрос о том, какой угол между ступнями правильный при опилковке или рубке — в 67 или 70°. Может быть, вам не так хорошо видно, как мне с моего места, до какой степени все эти цифры и предложения случайны и необоснованны. Очень часто эти цифры берутся прямо с потолка для того только, чтобы дать какое-нибудь постоянное правило и выявить научность своего подхода к делу. Между тем есть один прием, очень простой и научно единственно правильный, к которому почему-то никогда не прибегают.

Начнем опять с нормальной стойки. Среднее типичное положение стоп при нормальной стойке указано на рис. 48.

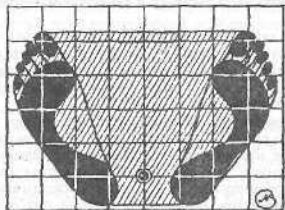


Рис. 48. Расположение стоп при нормальной стойке.
Кружок — проекция центра тяжести тела. Площадь опоры тела заштрихована.
Сторона каждого кнелатрия 5 см (по Р. Фитцу)

Это есть действительно только среднее положение, и колебания от человека к человеку могут здесь быть довольно велики. Так или иначе каждый из вас имеет первичное удобное положение для нормальной стойки, и из этого-то положения мы и будем исходить.

На том же рис. 48 двойным кружком изображено положение точки, куда попадает отвес, опущенный из центра тяжести. Если центр тяжести передвинется на несколько сантиметров вперед, вправо и т. д., то и положение нарисованной точки переместится в плоскости пола на столько же сантиметров и в ту же сторону. Эту точку мы назовем проекцией центра тяжести.

Есть одно основное правило о центре тяжести. Это правило гласит: пока проекция центра тяжести приходится на внутреннюю площадь опоры, до тех пор равновесие может сохраниться, как только проекция вышла за пределы площади опоры, равновесие нарушено безусловно и восстановить его можно, только переместивши площадь опоры по-новому, так, чтобы проекция снова оказалась внутри нее. Площадь опоры называется, как вы понимаете, площадью, заключенной между всеми крайними точками опирающихся на землю частей тела и прямыми линиями, соединяющими между собой эти точки. Площадь опоры человеческого тела вы получите, если соедините прямыми линиями кончики носков и кончики пяток обеих ног. Эта площадь, состоящая из площади опоры каждой из ног и из пространства между ними, изображена на рис. 48 стриховкой.

Ясно, что чем ближе проекция центра тяжести тела к краю площади опоры, тем больше риска потерять равновесие. Действительно, при таком крайнем положении достаточно уже маленького отклонения проекции, чтобы равновесие погубило. Вы видите на рис. 48, что при нормальной стойке проекция расположена в общем достаточно далеко в тылу.

Если нормальная стойка стоп достаточно хорошо приспособлена для спокойного стояния, то не так обстоит дело с работой. При работе части тела движутся, следом за ними

Послесловие

Творчество Н. А. Бернштейна — это гармоническое разнобразие, в котором невидимыми нитями переплетены факты, теория и фантазия. Объем фактического материала здесь настолько велик, что ничего существенного в него добавить нельзя. Обобщающая и объяснительная сила его теории вызывает чувство восхищения и преклонения, затмевая собою все «отдельные критические замечания». А свет его фантазий так же ярок и живителен для его научных плодов, как свет солнца для всего земного. Гармоничное целое нельзя изменить ни путем внесения в него чего-либо нового, ни путем изъятия из него чего-то «лишнего»; оно выходит из времени, превращаясь в вечность и вдохновляя потомков на создание новой, современной гармонии. Само остановившись в развитии, оно развивает других, заряжая их потенциальной энергией созданных образов.

В трудах Н. А. Бернштейна самым замечательным образом является модель живого движения. Живое невозможно без неживого, как по своей сути, так и в своем явлении. В модели нет жизни, есть только ее механизм. Но если жизнь одна (в том смысле, что она реализуется одним-единственным способом), то возможностей для жизненных проявлений множество, потому что существует множество механизмов реализации. Они не всегда выбираются по чьей-либо воле (как, например, в инженерных конструкциях), а скорее *представляются* конкретными ситуациями, спасающими нас от судьбы буридановой ослицы. Для Р. Декарта (модель рефлекторной дуги) такой подставкой (и подсказкой) была механика, для Н. А. Бернштейна (модель рефлекторного кольца) — автоматика. Хотя последняя в 30-е годы XX столетия делала свои первые шаги (кстати, далеко не всегда успеш-

ные). Н. А. Бернштейн увидел в ней принцип решения главной проблемы живого движения, обрисовавшейся ему в результате исследований биомеханики и физиологии двигательного аппарата — проблемы *неопределенности, неоднозначности отношений между командами, посылаемыми в мышцы, и их конечным эффектом*, наблюдаемым в пространственно-временных параметрах движения. В теории автоматического регулирования это соответствует неоднозначности отношений между задающей функцией на входе системы и результирующей функцией на ее выходе, когда на систему действуют возмущающие факторы; эта неоднозначность устраняется путем введения контура обратной связи. Рефлекторное кольцо есть аналог замкнутой системы регулирования. Заметим, что эта аналогия стала явной и понятной для псих только *после* того, как она открылась Н. А. Бернштейну, готовому к именно такому восприятию ситуации, которая сложилась к тому времени в трех независимых до этого сферах науки — биомеханике, физиологии и теории автоматики.

Упомянутая неоднозначность и способ ее преодоления — те общие элементы, которые присущи как живому движению, так и замкнутым техническим системам. Но, разумеется, есть и множество различий, что не прошло мимо Н. Л. Бернштейна. Эти различия достаточно хорошо известны тем, кто знаком с его трудами, и мы не будем на них останавливаться. Но есть одно, которое, будучи отмечено (не вскользь, а весьма серьезно) Н. А. Бернштейном, было как бы отстранено им при разработке модели регуляции двигательных актов. Речь идет о многосвязности нервно-мышечного аппарата, представленной им в виде образа одной лошади с несколькими всадниками (у Ч. Шеррингтона образ воронки иллюстрировал принцип общего нервного пути — окончаний множества эфферентных путей на одном мотонейроне). О соотношениях принципа обратной связи и принципа многосвязности будет рассказано ниже в контексте бернштейновской теории уровневого строения движения.

Итак, главным достоинством обратной связи является то, что она позволяет устранить неопределенность в отношениях между задающей функцией на входе и ответной реакцией на выходе системы регулирования, обусловленную непредсказуемыми влияниями внешних и внутренних возмущающих факторов. Это достоинство почти абсолютно, когда речь идет о технических системах, какими бы сложными они ни были. Однако, в случае живых организмов, по крайней мере оснащенных головным мозгом, применение принципа обратной связи вскрывает ряд его особенностей и ограничений. Укажем на некоторые из них.

1. Замкнутые системы регулирования не способны к новообразованиям, то есть к качественным изменениям ответной реакции на выходе при наличии определенной задающей функции на входе. Система с обратной связью способна только обрабатывать, повторять на выходе ту функцию, которая поступает на ее вход. Новообразования возможны лишь в том случае, если в канале *прямой* связи есть соответствующие преобразователи. В случае искусственных систем такие преобразователи проектируются и создаются инженерами; в *живых же* системах они *строятся* в процессе формирования двигательной функции, еще не нашедшей для себя адекватной обратной связи.

2. Обратная связь параметрична: она всегда реализуется по отношению к отдельному параметру объекта регулирования, устанавливаемому на этапе *анализа* системы. Если требуется регулировать несколько параметров объекта, то для каждого из них должна существовать *отдельная замкнутая* система с собственным контуром обратной связи. Это положение всегда выдерживается в технике систем автоматического регулирования, но часто нарушается при построении моделей замкнутого регулирования в живых системах. Здесь считается вполне допустимым *изображать*, например, зрительную обратную связь в системе регулирования двигательным актом в виде одной линии, *подразумевая* при этом, что она означает некоторое множество зрительных каналов,

каждый из которых передает свою специфическую информацию. С таким же разночтением мы встречаемся и в модели управления движением, предложенной Н.А. Бернштейном в статье «Назревшие проблемы регуляции двигательных актов». Она достаточно хорошо известна благодаря последующему многократному воспроизведению ее многими, в том числе и зарубежными авторами. В ней обратная связь обеспечивается работой системы восприятия (на блок-схеме последняя обозначена как «рецептор») и «прибора сличения», сравнивающего заданные и текущие значения регулируемого параметра и вырабатывающего сигнал рассогласования (ошибки), в дальнейшем преобразуемый в коррекционный импульс. Хотя обратная связь изображена в модели как одноканальная, Н. А. Бернштейн специально подчеркивает обстоятельство, что управление движениями осуществляется не по отдельным рецепциям, а на основе сенсорных синтезов, представляющих собой глубокую интеграционную переработку «сенсорных сигналов очень разнообразных качеств» (С. 53—54 настоящей книги). Таким образом, линия обратной связи идущая от «рецептора» в «задающий прибор» и «прибор сличения», на самом деле символизирует либо некоторое множество афферентных каналов (одной или разных модальностей), либо результат «глубокой интеграции» различных сенсорных качеств¹.

¹ Н. А. Бернштейн придерживался второй версии. Kommentировав работу Л. В. Чхидзе (1965), который был сторонником первой версии, он писал: «Скажу здесь сразу, что в известной мере уязвимым местом схемы Чхидзе несомненно является ненужно схематизированное резкое разграничение между собой не только первичных информационных потоков от экстерорецепторов и от проприорецепторов, но и их дальнейших внутримозговых маршрутов, вплоть до замыкания соответственных рефлекторных колец. Такое разделение неправомерно... Центральные аппараты, выполняющих действительные функции управления и координации, достигают уже глубоко и активно переработанные *сенсорные синтезы*, в которых срастаются между собой до неузнаваемости обработанные в низовых ядрах сигналы от всевозможных видов периферических рецепторов». (Из предисловия Н. А. Бернштейна к упомянутой книге Л. В. Чхидзе (С. 14—15).)

Заметим, что степень интеграции сенсорных сигналов, которая, согласно Н. А. Бернштейну, возрастает снизу вверх по уровням построения движений (С. 302), не может быть абсолютно полной, поскольку в этом случае интегральную сигналу соответствовало бы множество подынтегральных составляющих, и задача регулирования становилась бы бессмысленной. Выходит, что в «прибор сличения» по многоканальной обратной связи поступает сложный *паттерн* сигналов, пространственно-временная организация которых отражает процесс, происходящий как в системе регулирования (интерцептивные каналы), так и в объекте управления (экстероцептивные каналы). И это имеет место даже тогда, когда объект управления меняется только по одному параметру. Отсюда следует, что из «задающего прибора» в «прибор сличения» также должен поступать паттерн сигналов, являющийся эталонным для сигналов обратной связи. Здесь возникают вопросы, далеко не очевидные для теории автоматического регулирования: 1) по какому критерию¹ производится сравнение этих двух паттернов? 2) что представляет собой результат сравнения, особенно в случае полной идентичности паттернов, когда система точно отслеживает заданную функцию и сигнал рассогласования на выходе «прибора сличения» становится равным нулю? 3) в каком отношении находятся элементы паттерна сигналов задающей функции к элементам паттерна сигналов обратной связи? Без ответа на эти вопросы любая модель двигательного акта будет похожа на интригующую сказку о движении, а не на работоспособный ею механизм.

3. Работа замкнутых систем автоматического регулирования основана на принципе минимизации ошибки: в регулирующем элементе прямого канала системы вырабатывается коррекция, коррелирующая с величиной и знаком рассогласования, появляющегося на выходе прибора сличения. В результате коррекции ошибка уменьшается, и при хорошо настроенной обратной связи она близка к нулевому значению.

¹ Не исключено, что таких критериев может быть несколько.

В живых организмах как поведение, в целом, так и отдельные двигательные акты далеко не всегда следуют принципу минимизации ошибки, даже когда его соблюдение необходимо для успешного решения задачи. В норме ошибочные движения в процессе формирования навыка и даже намеренные увеличения ошибки позволяют лучше «почувствовать» движение. В экспериментальной ситуации с поворотом координат моторного и зрительного полей часто можно наблюдать, как испытуемый перемещает курсор не в нужном (иногда обратном) направлении, но, видя, что ошибается, он продолжает ложное движение, буквально не в силах изменить его в правильном направлении. Вообще, работа по принципу минимизации ошибки характерна скорее для заключительных, чем для начальных этапов формирования двигательного навыка.

4. У живых организмов текущая обратная связь оказывается иногда слишком медленной, чтобы участвовать в регуляции движений во время их реализации. Это так называемые баллистические, вообще, быстрые движения длительностью менее 0,5 с. Тем не менее такие движения характеризуются большой точностью, стабильностью и устойчивостью к сбивающим факторам. Разумеется, это не значит, что быстрые движения вообще не нуждаются в обратной связи, хотя такая точка зрения часто встречается в литературе. Скорее здесь имеет место ограниченная обратная связь (в основном интероцептивная и относящаяся к низким, фоновым уровням построения движений, где скорость проведения нервных импульсов достаточно высока, чтобы обеспечить замкнутое регулирование для двигательных автоматизмов). Экстероцептивные компоненты обратной связи оказываются как бы разделенными во времени от реализуемого движения и используются *post factum* для корригирования будущей реализации, предварительно разыгрываемой в идеомоторном плане.

5. За исключением элементарных рефлексов, двигательные навыки человека не даны в готовом виде. Динамика их формирования состоит из нескольких последовательно-параллельных этапов, подробно описанных Н. А. Бернштей-

ном (см. его монографию «О построении движений»). Как показали недавние исследования, оперирование освоенными двигательными навыками также характеризуется своей микродинамикой, отражающей различные условия реализации исполнительного действия (Я. Д. Гордеева, В. П. Зинченко). Все это говорит о том, что между *моторным выходом* двигательной системы и *афферентацией*, передаваемой по каналам обратной связи, *нет жесткого, раз навсегда фиксированного отношения*: одному и тому же конечному эффекту движения может соответствовать множество *его перцептивных образов*. Поэтому обратная связь не всегда может быть дана заранее и в полном объеме, она должна строиться вместе с построением движения (если речь идет о его формировании) или достраиваться в соответствии с новыми условиями (если речь идет об оперировании движением). УН. А. Бернштейна это обозначено как «фаза выявления адекватных коррекций», на которой движение становится ощущаемым (С. 263). Подобная ситуация до сих пор (насколько нам известно) не встречалась в технике систем автоматического регулирования, где обратная связь с ее адресами и характеристиками всегда наперед задана и жестко закреплена за конкретными параметрами объекта управления.

6. Помимо неопределенности «справа», то есть в отношениях между выходами моторных каналов и афферентными входами каналов обратной связи, существует еще неопределенность «слева» в отношениях между кортикальными окончаниями афферентных и началами эфферентных путей, иннервирующих многочисленные мышцы двигательного аппарата. В коре больших полушарий нельзя проследить пути, который связывал бы отдельный афферентный нейрон с отдельным эфферентным нейроном. Кора — это многосвязная сеть нейронов, соединенных по принципу «каждый с каждым». «В то время как в ниже лежащих системах мы имеем перед собой раздельные клеточные ядра, связываемые между собой пучками волокон, довольно легко анализируемые и по их неврональному составу, и по иерархическим взаимоотношениям, кора мозга построена как сплошной слой клеток,

простеганный во всех направлениях сплошным же слоем волокон белого вещества» (С. 157). Ясно поэтому, что по одним только нейро-анатомическим данным нельзя построить сколько-нибудь конкретную замкнутую систему регулирования, в которой контуры прямой и обратной связи имели бы четкие адреса своего начала и окончания. Может быть по этой причине все поныне предложенные теоретические модели регуляции движения выглядят фантастично, в то время как движения, демонстрируемые работами, — комично. И тем, и другим недостает механизмов автоматического регулирования, работающих в условиях неопределенных и изменчивых связей как «слева» — на уровне координирующих инстанций, так и «справа» — на уровне встречи моторной реализации с ее перцептивным отображением.

Нейронная сеть мозга вместе с многочисленными каналами прямой и обратной связи образуют многосвязную систему регулирования, потенциально способную на все, но реально обладающую только теми возможностями, которые создаются при формировании в ней структурно дифференцированных подсистем. Такая дифференциация достигается путем замыкания обратных связей как «справа» (на уровне объекта регулирования), так и «слева» (на уровне высших координирующих инстанций). В первом случае условием замыкания является ограничение или отбор тех параметров объекта, регулирование которых существенно для решения данной двигательной задачи; во втором случае условием является поиск и отбор тех каналов прямого воздействия, которые существенно влияют на выбранные параметры регулирования. Подключение того или иного канала обратной связи (то есть специфической афферентации) ко входу прямого (эфферентного) канала осуществляется, по-видимому, по принципу «максимума воздействия»: в качестве сигнала обратной связи выбирается тот, который претерпевает максимальное изменение в ответ на данное регулирующее воздействие¹.

¹ Подробнее о структурировании обратных связей в многосвязных системах см.: А.И. Назаров, 1970.

Сказанное позволяет заключить, что понятие рефлекторного кольца должно перерасти в понятие системы колец, основанное на принципе изначальной неопределенности *п* отношениях между множествами каналов прямой и обратной связи. Из этого понятия, в частности, следует, что замкнутость живой системы регулирования является приобретаемым свойством ее функционирования, а не априорным признаком ее нейро-физиологического субстрата. Исключения составляют лишь элементарные рефлекторные акты, реализуемые нижними отделами центральной нервной системы, где обратная связь, по-видимому, служит не только для регулирования двигательного процесса, сколько для его запуска и остановки.

Идея приобретаемое™ обратной связи в процессе деятельности субъекта имеет непосредственное отношение к той стадии формирования двигательного навыка, которую Н. А. Бернштейн называл «фазой выявления потребных сенсорных коррекций» (С. 263). «Именно в этой фазе центральная нервная система интенсивно набирает потоки рецепций... характерных для всего многообразия внешних и внутренних вариаций движения, потоки ощущений, которых не может быть видно ни на ком постороннем» (Там же). Если в предыдущих фазах определения ведущего уровня и двигательного состава субъект формирует предварительное представление о движениях, то есть то, как они будут выглядеть со стороны, то в этой фазе «он доходит до того, как должны ощущаться (изнутри) и сами эти движения, и управляющие ими сенсорные коррекции» (Там же)¹.

¹ Строго говоря, коррекция — это ответная реакция регулирующего элемента следящей системы на сигнал ошибки, выявляемой в приборе сличения. Понятие «сенсорная коррекция» следует понимать в том смысле, что источником корригирования являются сенсорные сигналы, передаваемые по афферентной части рефлекторного кольца; само же корригирование, возможное только после вычисления ошибки, относится к эфферентной части этого кольца.

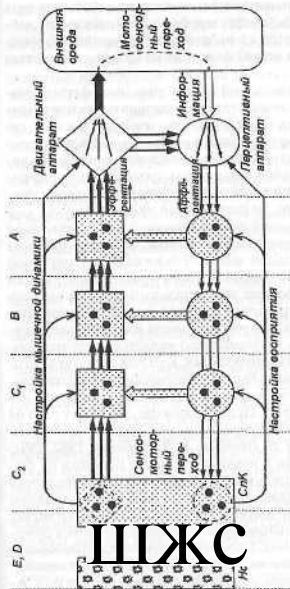
Процесс приобретения обратной связи тесно связан с динамикой формирования двигательного навыка. В концепции формирования, разработанной Н. А. Бернштейном, суть этой динамики состоит в постепенном создании разноуровневых сенсорных синтезов, на основе которых в каждом уровне вырабатываются адекватные для данной двигательной задачи коррекции; по мере возникновения таких сенсомоторных комплексов происходит передача технических функций по управлению движением с ведущего (высшего) на фоновые (нижележащие) уровни. Остановимся подробнее на этой второй составляющей динамики формирования.

В начале формирования навыка движение ведется «при посредстве суррогатных коррекций, похожих на временные деревянные леса, с помощью которых в дальнейшем будет воздвигаться каменная постройка» (С. 259). Такие коррекции вырабатывает кора полушарий. «Она одна в состоянии отозваться адекватной двигательной реакцией на новые незнакомые раздражения. Конечно, нагрузка, ложащаяся на кору в начале освоения навыка, вынуждает ее брать на себя малосвойственные ей двигательные задачи» [Там же]. И далее: «Постепенно овладевая навыком, центральная нервная система находит возможности передоверять фоновые коррекции движения соответственным фоновым уровням построения, тем, которые лучше всего приспособлены по качеству их афферентаций к осуществлению этих именно коррекций» (С. 259). Перед нами — схема, в которой центральный аппарат берет на себя несвойственные ему функции и со временем, убедившись в своей некомпетентности, поручает их периферии, освобождая себя для других дел. Здесь явная аналогия со схемой социального устройства, современного Н. А. Бернштейну. В этом аспекте мы хорошо знаем сейчас ее недостатки. Но, может быть, не стоит социальную схему сравнивать с физиологической? Оставим этот вопрос для философов. Более того, согласимся, что такая схема возможна и работоспособна. И, прежде чем говорить о ее несовер-

шенстве, рассмотрим лучше альтернативный подход, сделав одну важную оговорку. Дело в том, что идея движения от центра (сверху) к периферии (вниз по уровням), лежащая в основе модели формирования навыка, по Н. А. Бернштейну, логически не связана с его теорией построения движений, имеющей самостоятельный статус. Поэтому сказанное ниже по поводу динамики формирования навыка не относится к основам уровняго строения движения.

Рассматривая выше двигательный акт как многосвязную систему, мы говорили о замыкании афферентных каналов, по которым передаются сигналы обратной связи, на эфферентные каналы прямой связи по принципу максимума воздействия. Такое замыкание может происходить не только в коре полушарий, но и в других морфологических структурах, имеющих в своем составе нейронные сети, — мозжечке, таламусе, продолговатом мозге. Участие этих структур в построении движений разных уровней достаточно подробно описано Н. А. Бернштейном. Сигналы обратной связи, поступаая в кору, не могут миновать промежуточных уровней ниже коры. Эти афферентные реле так или иначе связаны с аналогичными релейными пунктами эфферентных путей. Таким образом, если опустить анатомические названия морфологических субстратов, то обобщенная схема управления движением примет вид многосвязной системы, показанной на рис. П-1. Напомним, что каждому контингенту движений соответствует специфический состав элементов и конфигурация связей между ними, но в любом случае они представляют собой частный вариант обобщенной схемы. Главным и общим (типовым) элементом многосвязной системы является нейронная сеть. Внутренние связи в этой сети характеризуются следующими параметрами:

- структурой (анатомической и функциональной),
- степенью (коэффициентами взаимодействия),
- динамикой (изменением во времени коэффициентов взаимодействия или функциональной структуры),
- знаком (торможение или возбуждение).



Нск — неспецифическая кора; СпК — специфическая кора

— ядерные и сетевые образования афферентных каналов, часть из которых образует многоканальную обратную связь;

— ядерные и сетевые образования эфферентных каналов прямой связи

Рис. П-1. Многосвязная система управления движениями: А, В, С, D, E — уровни построения движений (в обозначениях Н. А. Бернштейна); соответственно уровни таксономических регуляций, уровень синергий и штампов, уровень пространственного поля, уровень действий, уровень символических координаций

Отличаясь этими параметрами, каждая нейронная сеть имеет также специфическую морфологию (например, нейроны коры отличаются от нейронов ретикулярной формации продолговатого мозга) и состоит из разного количества элементов.

В контексте приведенной схемы динамику формирования двигательного навыка можно представить как постепенное изменение параметров разноразмерных нейронных сетей. Такое изменение происходит *одновременно* на всех уровнях, хотя остается возможной и последовательная модификация. Но самое главное, что на всем протяжении формирования навыка каждый уровень выполняет только свои специфические функции, не перепоручая их другим.

Изменения состояний нейронных сетей приводят к той конфигурации многосвязной системы, которая отвечает конкретной двигательной задаче. Что же является причиной этих изменений и что направляет их в нужное русло? Рамки послесловия не позволяют дать детальный ответ на этот вопрос, поэтому мы ограничимся общей формулировкой. Непосредственным регулятором состояния всех нейронных сетей (афферентных и эфферентных) является часть нейронной сети коры больших полушарий, которая образует мозговой субстрат *действия* субъекта. Напомним, что кортикальный уровень построения движения (*D*) Н. А. Бернштейн называл уровнем действий. Правда, понятие действия у него не было таким дифференцированным, каким оно стало недавно (см., например, И. Д. Гордеева, В. П. Зинченко, 1982, 1991; Я. Гордеева, 1995). Но в нечувствительном переходе от физиологической терминологии к психологической отразилось интуитивное убеждение Н. А. Бернштейна в природном единстве действия и движения. Действие вначале может быть только двигательным; *движение вначале — это и содержание, и форма действия*. Впоследствии действие приобретает другие формы: оно может становиться перцептивным, мнемическим, умственным, рефлексивным, но все они зарождаются в постепенно усложняющемся двигательном по-

ведении. Высшей ступенью развития движений является речь (говорение вслух или про себя). С ее же помощью начинается дифференциация двигательного действия и образование новых, уже автономных форм, в которых собственно движение или становится операцией (как, например, в письме), или полностью редуцируется. Элементы, функциональная структура и микродинамика исполнительного (двигательного) действия подробно изложены в работе Н. Д. Гордеевой (1995). Она является продолжением теории уровневой построения движений, но не путем достраивания ее более высокими уровнями (И. А. Бернштейн не находил для этого, по крайней мере, морфологических оснований¹ (С. 157)), а путем экспериментального анализа исполнительного *действия*, в котором эволюция морфологического субстрата заканчивается и начинается эволюция функциональных органов и систем.

Функциональный орган отличается от любого анатомического не только количеством и сложностью нервных элементов и связей между ними. Его главное качественное отличие состоит в способности запечатления и постоянного воспроизводства тех преходящих, быстро исчезающих, неустойчивых и часто едва уловимых событий, которые характеризуют *взаимодействие* субъекта с внешней средой. В функциональном органе отражается не то, что свойственно субъекту и внешней среде, взятым по отдельности, а то, что *возникает* в них при взаимодействии друг с другом и исчезает вместе с прекращением этого взаимодействия. Здесь — переход в иное время, движущееся вперед или назад или останавливающееся совсем, и в иное пространство с полисенсорными, а не декартовыми или какими-либо другими абстрактными координатами. Раз возникнув, функциональный орган продолжает жить во времени и пространстве хронотопа, сохра-

¹ «Кроме первичных полей и слоев... и тесно примыкающих к ним вторичных... все остальные цитохимические отделы коры полушарий не обнаруживают уловимых иерархических соотношений, а может быть, и не имеют их в раз и навсегда постоянном виде» (С. 157).

няя свою связь с внешним миром через им же настраиваемые подсистемы восприятия и движения.

В психологическом аспекте функциональный орган представляет собой внутреннее средство действия. В нейрофизиологическом аспекте — это *нейронная сеть*, состояния которой, характериземые приведенными выше параметрами, определяют структуру и динамику сенсомоторных связей, прокладываемых для решения данной двигательной задачи. На внешних кортикальных уровнях эта сеть неспецифична и универсальна; огромное количество элементов, из которых она состоит, позволяет создавать необозримое множество разнотипных связей, замыкающих или опосредующих переключение афферентных окончаний на истоки эфферентных путей. Аналогичные сети имеются на всех нижележащих уровнях построения движений, но они не столь универсальны, и их специализация возрастает по мере приближения к периферии; кроме того, состояние этих фоновых сетей почти целиком определяется указаниями сверху, в которых задаются значения параметров сети, отвечающие требованиям действия или его текущего кванта. Напомним, что эти параметры определяют не только структуру, но и динамику состояния сети на всем протяжении действия. Поэтому состояние *сетей всех уровней* с полным основанием можно считать *нейронным эквивалентом, программы движения*. Вообще, нам представляется, что все психологические операции, реализующие действие, имеют свои нейронные механизмы, которые состоят не только из специфических ядерных образований и таких же специфических связей между ними (что имеет место у *Н. А. Бернштейна*; см., например, рис. 79, с. 218), но и из нейронных сетей, в которых образуются функциональные неспецифические внутри- и межуровневые взаимодействия; именно последние определяют структуру и динамику паттернов афферентных и эфферентных сигналов, циркулирующих в замкнутом контуре регуляции двигательного действия.

Рассмотрение механизмов регуляции движений как многосвязных систем не следует понимать как простое количественное усложнение наших и без того непростых представлений об этом предмете. Дело заключается не в том, что вместо рефлекторного кольца мы имеем множество колец, а вместо одного канала (или, по крайней мере, нескольких разномодальных) — множество как афферентных, так и эфферентных каналов. Все это — факты, которые до сих пор или просто игнорировались, или только подразумевались и оставались за пределами теории, поэтому что справиться с ними по ряду причин не просто.

Но если признать и принять во внимание эти факты, то концепция уровневого построения движений должна будет претерпеть некоторые модификации. Мы говорили о том, что иначе выглядит динамика формирования двигательного навыка: ведущий уровень не вырабатывает «суррогатные коррекции», беря на себя несвойственные ему функции нижележащих уровней, а из детальной информации, поставляемой ему «снизу», отбирает, усиливает и закрепляет за каждым из них ту, которая наиболее чувствительна к данным эффлекторным воздействиям; если эти воздействия оказываются неадекватными (иногда для того, чтобы это обнаружить, требуется несколько повторений, пусть даже ошибочных), происходит модификация или замена эффлекторного паттерна, для которого вновь подыскивается наиболее чувствительная к нему афферентация. Критерием прекращения поиска и включения *механизмов усиления* найденной афферентации является успешное решение двигательной задачи¹. Только после завершения селекции афферентаций, индуцированных запуском данного двигательного состава, и закреплением их за эфферентными адресами через сетевые структуры всех уровней складывается полноценная сенсомоторная система, способная работать в следящем режиме.

¹ Успех, достигнутый в результате вчерне формировавшегося сенсомоторного комплекса, сам по себе ничего не решает. Его еще нужно закрепить, доработав детали движения и найдя для них соответствующие паттерны афферентаций.

Таким образом, главные регулирующие функции ведущего уровня в процессе формирования двигательного навыка заключаются в следующем:

- 1) инициация движения, отвечающего конкретной двигательной задаче;
- 2) селекция афферентаций, наиболее чувствительной к изменениям внешней ситуации, вызванным моторными воздействиями (отбор по принципу максимума воздействия);
- 3) усиление релевантной афферентации;
- 4) замыкание связей между выбранным паттерном афферентных каналов и эфферентным паттерном инициированного движения; такое замыкание осуществляется через нейронные сети, образуя функциональный сенсомоторный переход.

Последние три функции требуют повторных упражнений, во время которых отрабатываются (одновременно или, что чаще встречается, последовательно) параметры состояния образовавшихся нейронных взаимодействий (как специфических, так и неспецифических) на всех уровнях.

Вторая модификация касается понятия сенсорного синтеза. Из сказанного выше о функциях ведущего уровня следует, что для обеспечения ему достаточной свободы и пространства выбора афферентаций последние вначале должны быть как можно более детальными, доставляя информацию буквально о каждой мелочи, порождаемой во внешней ситуации воздействием на нее каждого нюанса движения. Такое накопление *мотосенсорного* опыта является необходимым условием, предворяющим образованию полного контура обратной связи в системе управления движением. Если же исходить из понятия сенсорного синтеза, то этот опыт остается лишь уделом периферии, а в центральные отделы попадают некие синтезированные качества, обобщенная или интегрированная информация. Здесь происходит как бы встреча психологической интеграции сенсорного опыта с интеграцией на нейронном уровне, в результате чего достигается желаемое психофизическое единство. Между тем речь идет о

разных интеграциях: первая основана на опыте деятельности субъекта с предметами; вторая есть результат суммирования или модуляции нервных электрических сигналов, конвергенции разных импульсов на одной нервной клетке, причем, чем больше таких импульсов поступает на нервную клетку, тем выше уровень интеграции. Смысл нервной интеграции понятен: если на уровне рецепции происходит расщепление (интермодальное и интрамодальное) физических свойств объекта (отсюда и название органов чувств; анализаторы), то путем нервной интеграции в указанном смысле (а другого не существует) на высших уровнях центральной нервной системы информация о деталях как бы объединяется в одно целое, создавая образ предмета. Но суммирование не есть интеграция или синтез в строгом значении этих понятий, да и образ предмета нельзя построить путем многоканальной и многоуровневой конвергенции. Более того, сейчас можно уверенно утверждать, что никакая афферентация сама по себе и как угодно сложно обработанная не может сформировать живой образ. Последний есть функциональный орган, следовательно, он формируется в действии субъекта. Конечно, мы не адресуем эту претензию Н. А. Бернштейну, который был воинствующим антимеханицистом. Но все же точный смысл его понятия сенсорного синтеза остается неясным. Это и не образ, и не нервная интеграция. Вопрос «что же это?», по-видимому, навсегда останется открытым (С. 54)¹.

В контексте многосвязного регулирования вопрос о «синтезе» афферентной информации решается иначе. Анатомический механизм нервной интеграции, как межуровневой, так и разномодальной, определяет максимально возможную ее степень на каждом уровне; реальная же степень интеграции в диапазоне от максимума до нуля зависит от параметров нервной сети фонового уровня. Последние регулируются ведущим уровнем в соответствии с требованиями те-

¹ Имеется в виду живой, а не математический образ.

² Выше мы цитировали определение «сенсорного синтеза» самим Н. А. Бернштейном (С. 54); но и здесь в определяющих словах много неясного.

кущего кванта действия. Заметим, что нулевая степень интеграции означает полную блокировку реализующих ее нервных связей; в этом случае информация проходит только по специфическим афферентным каналам, сохраняя свою исходную детальность. Таким образом, наличие на каждом уровне аппарата нервной интеграции при сохранности специфических афферентных каналов позволяет путем манипулирования параметрами нервных сетей производить как оперативную селекцию требуемой афферентации, так и ее оперативное укрупнение.

Аналогичные процессы протекают и в эфферентных каналах многосвязной системы. Моторным аналогом афферентной интеграции является принцип общего конечного пути, установленный Ч. Шеррингтоном: активность мотонейрона определяется суммарным воздействием на него многих эфферентных путей, берущих начало в различных отделах центральной нервной системы. Здесь опять-таки анатомические связи определяют максимум возможных воздействий на моторную единицу; реальная же конфигурация этих воздействий задается состоянием нейронной сети на каждом уровне построения движений. Оперативное управление состоянием сетей осуществляется ведущим уровнем¹.

Наконец, последнее соображение касается блока перешифровки (перекодирования). В модели Н. А. Бернштейна он выглядит наиболее загадочным. «О физиологических свойствах и даже о нервных субстратах элементов 5 и 6 (соответственно блок перешифровки и регулятор эффиктора. — *Ред.*) мы совершенно ничего не знаем» (С. 402). Между тем Н. А. Бернштейн довольно часто пользуется этим термином. Функция перешифровки определяется им так: «...для перевода с языка пространственно-кинематических представлений, на котором психологически строится первичный про-

ект движения, на язык фактической мышечной динамики требуется довольно сложная перешифровка, которая вдобавок тем сложнее и прихотливее, чем совершеннее выполняемое движение, т. е. чем лучше выработан двигательный навык». Фактически здесь сформулирован один из модусов психофизической проблемы: как психический образ движения превращается в нейромышечную динамику? По-видимому, мы еще долго не сможем ответить на этот вопрос, если будем формулировать его в таком виде. Дело в том, что гораздо более важным и легче раскрываемым является обратный вопрос: как нейромышечная динамика превращается в психический образ? Ведь в онтогенезе *простейшие двигательные акты предшествуют образу*. Вначале было движение. Множество спонтанных эффикторных команд, достигая по заготовленным природой путям множества мышц, порождали различные двигательные проявления (вспомним, например, комплекс оживления у младенцев при виде родных). Они воспринимались авторами движений как интероцептивно (через проприоцепцию), так и экстероцептивно, превращаясь в полимодальные афферентные паттерны. Этот *мотосенсорный переход* (см. рисунок. П-1, с. 655), образующий внешнее полукольцо еще незамкнутой системы, имеет очень глубокий смысл. Во-первых, здесь, в силу устройства двигательного аппарата силовое поле, создаваемое многочисленными векторами мышечной динамики, превращается в пространственно-временной рисунок движения (руки, предмета, инструмента и т. п.). Во-вторых, воздействуя на внешнюю среду, движение начинает ощущаться не только как диффузное эффикторное возбуждение, возникающее где-то внутри, или как «темное мышечное чувство», а как дифференцируемые перцептивные признаки предметных значений. Они-то и образуют содержание афферентации, которая, проходя через все отделы центральной нервной системы, попадает в высшие ее инстанции. Здесь афферентный паттерн встречается с текущим эффикторным паттерном, вызвавшим перцептивно закодированное движение. На всем протяжении

¹ Если отвлечься от морфологических различий между афферентными и эфферентными образованиями центральной нервной системы, то нельзя не заметить, что организация нервных процессов в них, по существу, одинакова.

² Сейчас мы можем сказать то же самое.

моторной реализации каждой эфферентной посылке соответствует эфферентный ответ на нее. Первоначально эти афферентации используются для замыкания сенсомоторных связей на различных уровнях: для этого периода характерно (особенно у маленьких детей) многократное повторение одних и тех же движений. В дальнейшем, откладываясь в памяти, они образуют основу для возникновения ожидаемой афферентации в то время, когда движение задумано, но еще не началось. К этой ожидаемой афферентации присоединяется и та, которая содержится в задающем образе движения: здесь не возникает никаких проблем, потому что обе афферентации представлены на одном языке предметных значений. Афферентация из задающего образа и ожидаемая афферентация из памяти вместе составляют часть «прибора сличения», в котором она сравнивается с текущей афферентацией движения. Мы не будем рассматривать дальнейшие операции, чтобы не отвлечься от вопроса о перешифровках. Нам представляется, что перешифровки совершаются на уровне *мотосенсорного* перехода, когда движение и его следствия становятся вольным или невольным предметом восприятия. Они локализируются не в организме, а во внешней среде. Внутри организма совершается *сенсомоторный* переход, реализуемый через систему специфических и неспецифических нервных связей. Управление этим переходом осуществляется когнитивными компонентами действия¹, которое и есть ведущий уровень построения движения.

Когда человек сталкивается с новой для него двигательной задачей, он не имеет готового контура обратной связи для ее решения «сходу». Обратная связь может быть лишь частичной и приближительной. Формирование полноценной обратной связи протекает одновременно с поиском и ини-

¹ Образ движения и представление о конечном результате, которые, согласно Н. А. Бернштейну, являются главными детерминантами двигательного акта, составляют лишь часть когнитивного плана действия.

циацией воздействий в прямом, эфферентном тракте, который в это время функционирует в открытом или полукрытом контуре, используя лишь локальные интероцептивные обратные связи нижних уровней для стабилизации нейромышечной динамики. Замыкание всех каналов обратной связи, или ее полная адресация, со стороны мотосенсорного (во внешней среде) и сенсомоторного (внутри организма) переходов происходит после селекции адекватной афферентации на всех уровнях и образования соответствующей функциональной конфигурации нейронной сети; через последнюю реализуется интер- и интрауровневые, интер- и интрамодальные связи. Аналогичные процессы протекают и в эфферентных каналах прямой связи: мышечные команды, первоначально инициировавшие движения, модифицируются приобретаемой обратной связью и по путям, намеченным нисходящими влияниями верхних уровней и закрепленным в выбранных конфигурациях связей в нейронных сетях, достигают конечных пунктов своего назначения. Таким образом, и в афферентных, и в эфферентных трактах одним из основных промежуточных объектов регулирования на всех уровнях построения движения является нейронная сеть, функциональное состояние которой задается конкретными значениями перечисленных выше параметров. Исследование принципов формирования этих состояний (принцип максимума воздействий, по-видимому, является не единственным) с учетом специфики двигательных функций — одна из актуальных задач, к решению которой, помимо трех упомянутых вначале сфер науки, современных Н. А. Бернштейну, должны подключиться психология и компьютерное моделирование.

В. Л. Зинченко
А. И. Назаров

Литература

Гордеева Н. Д. Экспериментальная психология исполнительного действия. — М.: Тривола, 1995.

Гордеева Я. Д. Функциональная структура исполнительного действия / Н. Д. Гордеева, В. Я. Зинченко. — М.: МГУ, 1982.

Назаров А. И. Опыт исследования координации группового управления. — М.: МГУ, 1970.

Чхаидзе Л. В. Координация произвольных движений человека в условиях космического полета. — М.: Наука, 1965.

Именной указатель

К

- Анохин П. К. 134, 407, 425, 486
 Архит Тарентский 439
 Аршавский И. А. 230
 Асратян Э. А. 134, 425
 Бабаева Е. 317
 Белл Ч. 441
 Бергер 98
 Бехтерев В. М. 390, 487
 Биш 485
 Бор 445, 482
 Борелли 416
 Бранс 503
 Браус 522
 Бриль Л. 363
 Брэм 158
 Буль 489
 Быховская Г. Х. 223
 Бэте 96, 134, 176, 425
 Вагнер Р. 402, 411
 Варшавский В. И. 496
 Введенский Н. Е. 71, 448
 Винер Н. 400, 507
 Леонардо да Винчи 428, 439
 Вирхов 485
 Вокансон 428
 Воронцова И. П. 496
 Гарвей 428
 Геллерштейн С. Г. 182, 275
 Гельмгольц 439
 Гельфанд И. М. 421, 471, 496, 502-503, 506
 Гоголь 458
 Гордеева Н. Д. 656, 666
 Горшков А. А. 89
 Грабарь И. 17 4
 Грюнбаум 224
 Гуревич М. О. 9, 99, 214, 223, 225, 227, 229, 230, 237, 243, 246
 Гурфинкель В. С. 412, 432, 496
 Гурьянов Е. В. 313
 Гусева А. А. 89
 Дамон 204
 Декарт 427, 644
 Дюбуа-Раймон 214
 Ерофеева М. Е. 392
 Залыдгебер О. А. 117
 Занд 204
 Зинченко В. П. 1, 2, 5, 656, 665, 666
 Канова 435
 Кекчеев К. Х. 363
 Кене (Кенэ) 416, 427
 Клейст 194, 198, 232
 Комбринский А. Е. 432
 Коперник 445
 Корсакове. С. 3, 488
 Кулагин О. 463

Ламарк 22
 Ламетри 418
 Лейтон 224
 Ленин В. И. 389
 Леонтьев А. Н. 56, 57
 Лешли 224, 477
 Ливанов М. Н. 92, 412
 Лоренц 445
 Лурья А. Р. 4, 193, 196, 199, 309, 330, 350, 353
 Лядумег Ж. 41, 42, 43, 145, 288, 289, 290
 Магнус 86
 Марей Э. 96, 97
 Мейнерт 229, 250
 Моисеев В. Д. 416
 Моллиер 532, 561, 572, 608, 613, 615, 620, 621
 Назаров А. И. 2, 6, 651, 655, 666
 Ньютон 445
 Озерский Н. 153
 Орбели Л. А. 9, 331
 Осипов Л. 90, 151, 288, 317, ..
 Павлов И. П. 5, 250, 385, 389, 392, 448, 487
 Пифагор 482
 Планк 482
 По Э. 458
 Попова Т. С. 237, 238, 239, 241, 281, 291, 304
 Птоломей 445
 Рафаэль 435
 Розенблют А. 400
 668

Рихиладзе 147
 Садчиков И. 146, 356
 Сеченов И. М. 3, 77, 385, 429, 448, 491, 584
 Смолуховский М. 510
 Сперанский А. Д. 389, 425
 Спицин С. 95
 Толстой А. Н. 355
 Толстой Л. Н. 296
 Тольят 528
 Тревитик 442
 Уап 402
 Укран М. 40
 Уолтер Гр. 412, 442, 443, 444, 496
 Ухтомский А. А. 3, 4, 448, 498
 Фалее 482
 Фарфель В. С. 52
 Фикс Р. 556, 634, 640
 Фишер О. 636
 Флуранс 477
 Франчини 427
 Цетлин М. Л. 471, 496, 502, 503, 506
 Чистяков П. П. 172
 Чуковский К. И. 355, 357
 Чхидзе Л. В. 412, 649
 Шевес А. 149
 Шенихен 586
 Шерринтон 645, 662
 Школьник-Яросс Е. 196
 Шпальтеголы 535, 571, 579, 593, 599

Шредингер 445

Эдисон 439

Эдриан 91

Эйнштейн А. 445, 482, 510

Эттли 44

Юдин 548

Юкава 445

Adrian 91

Baldwin 244

Barron 77

Bell C. 441

Berger 98

Belhe 96, 134, 176, 425

Borel 416

Braun 244

Briscoe 89

Brodman 122, 141, 207, 217, 223

Brown G. 9, 142, 268

Dix 244

Du Bois-Reymond 214

Economo 21, 229

Edinger 214

Flatau E. 102

Foerster O. 9, 119, 140, 141, 142, 161, 240, 329

Foix 224

Fisher 636

Freud 228

Fulton 89

Goldstein K. 9

Grimbaum 224

Haackel 214

Helmholtz 439

Jackson 8, 143, 159, 195

Jacob 143

James 118

Kappers A. 20

Keller 124

Kilvington 134

Kleist 194, 198, 232

Kommiller 91

Krause 140

Ladoumegie J. 41, 42, 43, 145, 788, 289, 290

Lange 118

Lapicque L. 68, 77, 85, 86, 474, < 198

Lashley 224, 477

Leyton 224

Liepmann 160, 192, 193, 343

Lindhard 9

Magendiel 75

Magnus 86

Marey E. 96, 97

Matthews 77, 92

Meynert 229, 250

Minkowski 9, 215

Mittelstaedt 414

Mohr L. 120, 140

Monakow 9, 21, 93, 102, 122, 212, 220

Nicolesco 224

Nothnagel 159

Osborne 134

Rim 29
 Rink 86
 Ring 41
 Rink 91
 Roe 24
 Rook 11
 Rook 87
 Rook 46
 Rook 9 26 86, 2464
 Rook 24 21 «
 Rook 10
 Rook 44
 Rook 24

Thode 23
 Ueki 13 86, 13
 Vagh 24, 28, 20

Vogt C 142, 221
 Vogt O. 142, 163, 221

Wachholder 9
 Wagner R. 402, 411
 Walsh 91
 Walter 412, 442, 443, 444, 496
 Watt 402
 Weiss 477
 Wiener N. 400, 507

Предметный указатель

- Автоматизация (движения, навыки) 58, 94, 114-118, 132, 167, 171, 172, 180, 182-184, 186, 195, 197, 198, 208, 211, 240, 254, 256, 257, 266, 267, 269-271, 274, 275, 277, 281, 293-295, 297, 299, 302, 309, 310, 312, 314, 321, 348, 358, 360, 273, 374, 379, 396, 404, 408, 426, 496, 497
- Автоматизм 118, 182-190, 195, 199, 200, 204, 206, 208, 209, 211, 212, 215, 217, 246, 267-275, 277-280, 301-303, 311, 313, 314, 329, 337, 341, 342, 354, 369, 378, 380, 649
 - фоновый 190, 200, 267, 269, 275, 277, 295, 311, 313, 314, 341, 354, 369, 379, 380
- Альтерация 71-73, 75, 76
- Амимия П8
- Амиостатический симптомокомплекс 96, 97
- Антиципация, см. также коррекции
 - prelimинарные 304-306, 413, 414, 469, 473
- Апраксия 159, 165, 183, 191-193, 159, 165, 183, 191-195, 198, 199, 209, 341, 343, 351
- Апперцепция 56
- Асемические расстройства 212
- Атаксия 45, 46, 98, 100, 152, 154, 172, 234, 324, 331, 337, 346
- Атетоз 119, 120, 229, 335, 336, 349
- Атомизм 83, 394, 417, 449, 461, 463, 485
- Афферентация 17, 45, 46, 51, 53-55, 57, 59, 79, 81, 84, 92, 101, 103, 105, 107, 108, 111-113, 121-124, 126, 130, 138, 139, 143, 152, 154, 156, 162, 164-168, 171, 172, 174, 178, 186-188, 192, 197, 198, 207, 211, 212, 223, 234, 250, 259, 266, 268, 270, 277, 292, 297, 302, 323, 326, 329, 331, 337, 340, 342, 343, 347, 348, 365, 379, 385, 425, 486, 498, 651, 653, 659-661, 663, 664
 - ведущая 59, 103, 121, 126, 164, 165, 168, 186, 207
- Баллистические движения 113, 128, 147, 148, 187, 281, 284, 286, 305, 361, 368, 413, 649
- Бездекрементность 63, 93
- Биогенетический закон 214
- Биодинамика 4, 27, 33, 50, 288, 402
- Биомеханика 1-4, 6, 177, 383, 416, 449, 484, 490, 513-518, 564, 598, 616, 630
- Вариативность 53, 128, 130-133, 137-339, 180, 185, 189, 190, 204, 257, 270, 271, 280, 286, 293, 295, 299, 300, 358, 359, 360-362, 365, 366, 369, 371-374, 404, 505

— признак специфической вариативности 132, 189, 358

— иточность 130, 138, 358, 365

Ведущий уровень. См. Уровень 8, 23, 25, 54, 58, 59, 80, 84, 85, 107, 118, 132, 142, 143, 184, 186, 234, 256, 259, 260, 264, 266, 267, 269, 270, 277, 297, 319, 326, 360

Вестибулярный 45, 88, 103, 122, 123, 152, 232, 259, 276, 278, 367, 369, 376

Восковая гибкость 97, 119, 225, 346

Время 3, 5, 8, 9, 12, 17, 20, 21, 24, 27, 33, 39, 50, 53, 57, 60, 64, 66, 68, 71, 73, 82, 85, 86, 90-93, 98, 102, 106, 121, 124, 129, 131, 132, 137, 142, 156, 167, 169, 174, 175, 178, 179, 182, 185, 187, 198, 207, 212, 213, 215, 221, 228-232, 235, 237-239, 243, 248, 250, 251, 253-255, 260, 262, 265-268, 270, 277, 288, 290, 294, 295, 297, 304, 305, 307, 312, 315, 316, 323, 329, 334, 336, 340, 342, 356, 358, 360, 411, 413-415, 418, 420, 422, 429, 430, 431, 433, 438, 445, 448, 449, 453, 457, 458, 459, 460, 463, 467, 470, 471, 473, 477, 478, 481-485, 488, 490-494, 496, 498, 499, 501, 503, 504, 506-512, 518, 520, 521, 523, 528, 533, 542, 545-547, 549, 550, 554, 558, 564, 568, 587, 591, 592, 594-596, 605, 609, 616, 617, 662, 635, 636, 644, 649, 650, 653, 654, 657, 660, 664

— субъективное 174

Вынужденное движение 29, 30, 32, 94, 96, 107, 108, 285, 306

Выразительные движения 29, 96, 111, 118, 119, 143, 154, 181, 226, 229, 237, 242, 333, 460

Гипердинамика 97, 118, 323, 327, 329, 331, 332, 335, 339, 343, 346, 348

Гиперкинез 119, 234, 328, 343, 348, 349, 354, 357

Гипертония 97, 332, 338, 339, 342, 346

— ригидная 332

Гиперфункция 98, 118, 119, 154, 225, 323

Гиподинамия 323, 327, 333, 334, 337, 345, 346, 348, 350

Гипотония 98, 100, 325, 331, 332, 339

Гипофункция 98, 100, 118, 323, 325

Головной мозг 14, 16, 19-22, 76, 78, 81, 89, 101, 102, 140, 141, 155-157, 216-218, 222, 223, 244, 336, 388, 409, 421, 442, 429, 434, 457-461, 463, 465, 466, 470, 471, 473, 476-478, 480, 481, 487, 494, 495, 505, 506, 508, 511, 546, 646

Деавтоматизация 53, 58, 118, 188, 195, 197-199, 246, 255, 280, 292, 294-298, 309, 314-316, 321, 325, 329, 331, 341, 342, 348, 359, 370, 371, 373, 375, 376, 380, 496, 497

Деафферентация 45, 336, 337

Деяствие 4, 5, 14-18, 23, 32, 38-44, 59, 68, 70, 77, 92, 126, 131, 133, 148-150, 154,

158-160, 164-212, 217, 222, 226, 227, 233, 242-251, 258, 260-263, 267, 272, 280, 290, 294, 296, 299, 301-303, 306, 309, 311, 312, 315, 316, 321, 327, 329, 332, 335, 336, 339, 341, 343, 351, 352, 354, 356, 360, 369, 371, 373-380, 384, 386, 388-390, 395, 404, 405, 420-429, 443, 445, 451-458, 471-480, 485, 489-503, 511, 546, 547, 589-591, 594, 597, 598, 605-607, 610, 616, 620, 622, 623, 629, 630, 641, 656-666

— машинное 255, 354

— предметное 59, 126, 148, 149, 160, 166-168, 174, 177, 179, 181, 185, 186, 192, 244, 245, 494, 495

Децеребрационная ригидность 97

Динамическая устойчивость 27, 53, 72, 131, 180, 227, 257, 281, 284, 292, 293, 299, 321, 367, 371, 375, 452, 649

Дискоординация 45, 46

Диспраксия. См. Апраксия 159, 191

Диссинергия 104, 119, 333

Дистаксия. См. Атаксия 152

Двигательная задача 54, 383, 386, 404, 454, 455, 470

Двигательный аппарат (система) 26, 27, 214, 402

— пассивный 27

Двигательный навык 51, 111, 250, 251, 253-255, 258, 314, 663

— развитие 249-317

Двигательный состав 80, 129, 165, 166, 179, 261, 321, 344, 404, 405

Движения-звенья 179 ;

— ведущие 179 t

— вспомогательные 179

Дистантный 105, 112, 123

Дистония 97, 152

Дрожательный паралич Паркинсона 97, 119, 339

Закон 24, 63, 65, 67, 68, 72, 76, 93, 164, 175, 214, 265, 401, 422, 428, 445, 459, 464, 466, 475, 487, 508, 509, 511, 517, 576, 584

— «все или ничего» 65, 67, 68, 72, 76, 93, 422, 475

— изолированного проведения 63

Значение 4, 12, 17, 27, 31, 85, 88, 92, 115, 132, 214, 239, 247, 308, 314, 362, 387, 399, 401, 406, 411, 413, 414, 424, 425, 431, 465, 486, 492, 564, 567, 572, 584, 616, 637

Зрение 13, 46, 123, 460

Зрительный 18, 19, 84, 89, 101, 102, 105, 108, 111, 122, 123, 143, 148, 154, 160, 164, 171, 173, 196, 216, 220-222, 234, 259, 271, 277, 309, 312, 313, 333, 336, 363, 368, 379, 410, 412, 422, 442, 447, 460, 468, 646, 649

Избирательная контингентность движений 318

Избирательное выпадение движений 328

Индивидуальный моторный профиль 247

Иннервационная формула 57, 280

Иннервационный примитив 238

Интерференция 108, 275, 278, 279

Исполнительная система 278

Кибернетика 3, 398, 416, 436, 448, 483, 484, 491, 496, 505, 507

Кинематическая цепь 27—36, 44, 48, 61, 105, 106, 240, 282, 285, 308, 395, 398

— замкнутая 29

— незамкнутая 29

Кинетический 51, 96, 104, 105, 159

Класс движений. См. Контингент движений 126

Клеточный центр 477, 487, 492

Клонус 338, 492

Кольцевое управление (связь) 408

Контингент движений 15, 23, 24, 112, 121, 159, 166, 167, 188, 248, 269, 318, 324, 334, 345, 352, 654

Координационная функция 15, 17, 26, 92, 388

Координационный уровень. См.

Уровень построения движений 22, 77, 158, 183, 203, 208, 209, 216, 224, 228, 244, 248, 319, 360, 366, 407, 408, 497

Координация 4, 8, 9, 16, 23, 25, 33, 45, 46, 48, 53, 57, 59, 76, 79, 84, 99, 103, 105, 129, 132—139, 143, 152, 154, 156, 158—160, 167, 185, 187, 194, 202, 203, 208—211, 214, 290, 301, 311, 312, 318, 319, 331, 333, 334, 350, 379, 388, 394, 397, 398, 405, 443, 473, 503, 504, 510, 647, 666

— двигательная 8, 16, 25, 33, 53, 57, 133, 139, 143, 159, 160, 388, 394, 397, 398, 405, 473, 503

Кора (полушарий, большого мозга) 19, 21, 23, 80, 91, 105, 109, 217, 218, 220, 221, 250, 253, 272, 281, 350, 413, 417, 461, 506, 650, 651, 654, 656

Коррекции (корригирование) 17, 45, 46, 51—58, 81, 92, 103, 105, ПО, 130, 131, 137, 139, 166, 171, 184, 190, 211, 216, 225, 253, 255, 258, 259, 263—280, 293, 295, 298, 299, 302, 304—306, 311, 312, 318, 321, 334, 349, 358, 365, 366, 369, 370, 372, 374, 376, 380, 403, 405, 408, 413, 414, 472, 497, 505, 648, 652, 653, 659

— антигистаминные 334, 376

— ведущие 259, 266, 380

— компенсационные 299

— прелиминарные 304—306

— сенсорные (сензорные) 17, 45, 46, 51, 53, 54, 57, 81, 92, 103, 105, 130, 166, 171, 184, 211, 216, 225, 253, 255, 259, 263—265, 273, 275, 280, 295, 302, 304, 305, 318, 312, 349, 372, 403, 405, 408, 652

— суррогатные 259, 653, 659

— фоновые 256, 259, 265, 274, 408, 653

Кортикальный 17, 20, 51, 59, 120, 122, 125—127, 139, 143, 154, 156—158, 160, 164, 175, 186, 195, 207, 216, 224, 228, 240, 243—246, 250, 259, 265, 267, 271, 278, 310, 326, 336, 340—343, 349, 354, 650, 656, 658

Латеропульсия 119, 348

Лобный синдром 212

Локализация 4, 59, 139, 157, 160, 164, 175, 180, 184, 194, 207, 249, 253, 310, 323, 336, 345, 352, 464

Локомоторный 3, 14, 101, 111, 113, 143—147, 235, 237, 243, 265, 272, 304, 356, 442

Локомоция 17, 97, 106, 107, 113, 124, 144, 153, 176, 177, 215, 222, 225, 235—237, 239, 242, 260, 265, 268, 281, 284, 295, 306, 324, 337, 357, 383, 404

Медленные потенциалы 67, 72, 75, 76

Метрика 169, 170, 171, 173, 181, 99, 302, 373, 377, 447, 505

Мнестический 17, 18, 23, 156, 165, 203, 272

Многоуровневая структура 258

Моделирование 2, 6, 416, 427, 428, 430, 431, 438—441, 444—446, 464—467, 469, 492, 495, 498, 501, 502, 508

Мозжечок 19, 45, 78, 102, ИЗ, 122, 217, 218, 222, 236, 654

— древний 78

— новый 122

Мотив 107, 113, 118, 165, 177, 179, 186—188, 203, 208, 211, 212, 268, 269, 296, 343, 349, 353, 434

Мотон 85, 93, 278, 346

Моторика 15, 45, 50, 94, 96, 101, 120, 121, 124, 129, 136, 190, 207, 214, 215, 223, 224, 227, 228, 230, 235, 242, 243, 246, 248, 301, 318, 320, 333, 339, 357, 377, 395

Моторная

— афазия 209, 340

— одаренность 247

Мышлатура 24, 27, 41, 42, 45, 60—62, 96, 101, 223, 235, 236, 238, 249, 285, 288, 367, 425, 475, 486, 595, 613

— гладкая 45, 60

— поперечно-полосатая 27, 61, 62

Мышечная

— астенция 331

— группа 101, 163, 326

— динамика 50

— синергия 104, 264

— формула 50

Мышцы 16, 27, 32—46, 61, 62, 65, 66, 73—76, 79, 81, 83, 85—89, 92, 97, 99, 101, 104, 105, 108, 112, 117, 138, 224, 228, 230, 233, 236, 244, 278, 283, 306, 320, 338, 339, 341, 345—348, 367, 395, 397, 417, 423, 451, 474, 498, 504, 506, 520, 521, 537, 538, 537—560, 564, 565, 567, 568, 573, 575—627, 632, 650, 663

— возбуждение 35—44

— длина 35—37, 44, 46, 65, 76, 87, 578

— длина покоя 44, 44, 48, 72, 578

— зависимость между длинной, возбуждением и напряжением м. 34, 35, 37, 39, 68, 356

— коэффициент вязкости 64, 68

— модуль упругости 64, 68

— напряжение 34—44, 89, 549

- расслабление 35
- сгибательные 33, 40
- — скелетные 34, 66, 74, 76, 79, 88
- сокращения 83, 548, 549, 551, 552

Настройка 473, 491, 498, 510

Неокинетический 16, 27, 60—77, 83, 88, 93, 94, 100, 123, 475, 476

Неопределенность 36, 37, 646, 650, 652

Непроизвольное движение 94, 11, 119, 143, 267, 347

Образ 4, 114, 137, 165, 173, 178, 205, 234, 263, 309, 403, 404, 457, 458, 468, 479, 589, 645, 663

Обратная связь 383, 392, 399, 420, 423, 425, 440, 452, 454, 472, 485, 645, 646—654, 660, 664

- сенсорная 383, 652

Осязание 103, 124, 162, 217, 419, 461, 467

Палеокинетический 16, 25, 59, 60, 61, 67—96, 101, 124, 216, 306, 369, 476

Парабиоз 71

Паркинсонизм 62, 98, 118, 198, 292, 332—334

Перенос 113, 144, 147, 164, 185, 263, 272—275, 302, 303, 304, 311, 371, 374, 477

- по исполнительному органу 273, 274
- упражненности по навыку 272—275, 302, 371

Переключаемость 133—138, 180, 185, 190, 299—304, 373, 375

Перешифровка 50, 107, 118, 157, 167, 198, 206, 207, 212, 309, 312, 335, 396, 406, 662, 664

Перистальтические движения 28

Периферийное замыкание 47

Периферический цикл взаимодействия 37

Персеверация 119, 192, 205, 206, 207, 212, 310, 328, 335, 339, 343—357

Пирамидно-стриальный уровень (С). См. Уровень пространственного поля 19, 59, 98, 101, 113, 120, 121, 123, 125, 126, 128, 129, 131, 137, 139, 142, 148, 172, 182, 199, 204, 211, 212, 231, 233—235, 260, 265, 269, 296, 299, 301, 303, 307, 308, 309, 312, 313, 324, 368, 371, 373, 378

Письмо 59, 62, 114, 134—136, 179, 197, 202—204, 209, 213, 242, 243, 267, 274, 306—312, 350, 351, 356, 361, 364, 365, 378, 405, 503

Плато 69, 279

Пластичность 16, 134, 136, 190, 226, 270, 299, 301, 375, 379

- нервной системы 16, 301, 375

Поза 28, 42, 46, 96, 308, 334, 338, 346, 370

Познание 384, 388, 402, 515

Полетный интервал 240

Порог сличения 409

Построение движений 59, 114, 158, 203, 209—212, 216, 240, 269, 292

Почерк 114, 134—137, 172, 197, 204, 209, 307—309, 501

Правила параллелизма 71—75, 85—88, 155, 286

Практики 179

Преднастройка 77, 473, 474, 499

Премоторная система 188, 208, 224, 278, 306, 309, 310, 343

Премоторный синдром 184

Пре-локомоторный период 235

Признак

- стабильности-сбиваемости 360
- точности-вариативности 360

Принцип:

- активности 507, 546
- пластического (скользящего) сопряжения 96, 176
- «равной простоты» 444—447
- сенсорных коррекций 45

Принятие решения 495

Приспособительные вариации 305, 364, 373

Проблема регуляции 419

Программирование (действия) 493

Произвольное

- движение 24, 56, 94, 96, 98, 143, 198, 199, 267, 340, 341, 347, 454, 606
- действие 456, 480

Проприомоторный 45, 46

Проприоцептивная система 107, 106

Проприоцептивный 47, 51, 55, 79, 84, 101, 103, 105, 138, 143, 221, 230, 251, 259, 264, 271, 276,

285, 312, 313, 324, 331, 346, 347, 363, 370, 372, 461

Проприоцепторика 16, 46, 52, 79, 123, 324, 387, 461

Проприоцепторы (проприорецепторы) 46, 425, 647

Пространство 5, 106, 108, 112, 123—128, 138, 142—144, 147, 154, 166—175, 179, 181, 183, 193, 199, 201, 235, 302, 303, 307, 308, 336, 337, 349, 368, 370, 372, 386, 526, 558, 630, 641, 657, 660

- субъективное 174
- категориальная организация 169

Пространственное поле 56—59, 120—154, 156, 159, 164, 165, 168—174, 176—193, 197—204, 210, 216, 225—227, 232—235, 242, 245, 260, 261, 269, 272, 293, 297, 300—312, 333, 337, 346, 349—351, 357, 361, 368, 370—379, 447

Протопатическая чувствительность 78, 103

Прототип 51, 250—255, 391

Психомоторика 81, 248

Психофизиология 10, 12, 418

Рабочая точка 374, 401

Реавтоматизация 314—316

Ретренировка 315

Ретропульсия 119, 335, 348

Рефлекс 55, 78, 82—84, 86, 111, 228, 229, 233, 238, 250—252, 339, 345—347, 367, 383, 384, 389—392, 416—429, 443, 449, 453, 456, 479, 485—487, 493, 496, 510, 511, 649

- безусловный 389, 390, 456
 - сшальный 82, 83, 233
 - схватывания 229, 347
 - тонический 86
 - условный 250-252, 390, 392, 443, 456, 479, 486, 496

Рефлекторная дуга 18, 384, 420, 449, 452, 485, 487, 488, 490, 495, 510, 644

Рефлекторное кольцо 47, 48, 54, 79, 84, 94, 261, 323, 325, 342, 384, 412, 452, 485, 495, 510, 644, 652, 659

Рефрактерность 63, 67, 411, 413

Речь 17, 83, 94, 111, 113, 119, 130, 131, 137, 145, 155, 166, 177, 188, 197, 209, 213, 229, 239, 242, 255, 262, 265, 269, 272, 280, 310, 316, 333, 347, 349, 355, 358, 361, 373, 380, 385, 393, 423, 438, 445, 457, 462, 463, 475, 487, 489, 507, 509, 514, 645, 646, 660

Рецепторика 13, 14, 16, 17, 20, 84, 122, 168, 175, 253, 288, 382, 386, 387, 394, 487

Рецепторный аппарат 272

Рецепторный 58, 76, 83, 86, 88, 99, 235, 237, 325, 367, 448

- иннервация и денервация 57, 58, 82, 99, 137, 197, 199, 227 235, 238, 306, 325 491

Ритм 89, 91, 92, 98, 106-108, 114, 117, 174, 201, 316, 333, 386, 418, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 894, 895, 896, 897, 898, 899, 900, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 914, 915, 916, 917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 928, 929, 930, 931, 932, 933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 977, 978, 979, 980, 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 990, 991, 992, 993, 994, 995, 996, 997, 998, 999, 1000

- бета 89, 91, 92

Рубро-спинальный уровень (А).
 C₈ - Уровень палеонинетических регуляций 59, 60, 77, 79, 93, 94, 95, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 118, 123, 176, 211, 231, 232, 234, 245, 306, 339, 366, 367, 374

Саморегулирующееся устройство (СУ) 399

Сбиваемость 185, 257, 293, 294, 298, 299, 327, 359, 360, 364, 366

Сенсорное (сензорное) поле (сенсорный синтез; афферентационный синтез) 121, 168, 217, 202, 303, 321, 487

Сигнальная система 14, 387, 392, 393, 394, 462, 463, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 894, 895, 896, 897, 898, 899, 900, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 914, 915, 916, 917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 928, 929, 930, 931, 932, 933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 977, 978, 979, 980, 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 990, 991, 992, 993, 994, 995, 996, 997, 998, 999, 1000

Силовое поле 126, 375, 663

Силы 31-44, 50, 61, 62, 65, 67, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 894, 895, 896, 897, 898, 899, 900, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 914, 915, 916, 917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 928, 929, 930, 931, 932, 933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 977, 978, 979, 980, 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 990, 991, 992, 993, 994, 995, 996, 997, 998, 999, 1000

j — внутренние 35
 • й* — динамические 32
 — итерционные 38-43, 61, 108
 - реактивные 31, 35, 38, 40-44, 50, 105, 106, 108-110, 112, 187, 253, 280, 282-285, 288-290, 304, 396, 451
 — статические 32

Символ 77, 167, 261, 434, 489, 549

Синдром Липмана 192-194, 213

Синергия 58, 59, 61, 97, 100, 101, 104-119, 122, 124-138, 142, 149, 187, 193, 197, 202, 204, 211, 212, 216, 225, 230, 231, 232, 235, 236, 253, 259, 265, 269, 271, 274, 283, 285, 292, 296, 299, 303, 304, 309, 310, 313, 324, 328, 333, 334, 339, 342, 344, 348, 349, 367, 369-372, 374-377, 548
 — фоновый 296

Синкрасия 119, 186, 231, 233, 234, 237, 328, 335

Синтез
 — времени 167, 174
 — пространства 168, 174
 — сенсорный (афферентационный) См. «сенсорное поле»

Следовой процесс 63

Смысл 4, 11, 15, 23, 25, 46, 48, 51, 68, 77, 96, 101, 105, 115, 119, 120, 159, 164, 165, 179, 183, 184, 187, 190, 193, 205, 209, 211, 212, 221, 251, 257, 260, 264, 265, 268, 270, 274, 327, 331, 352, 363, 365, 374, 37

Таламическая система 221, 333
 Таламо-паллидарный уровень
 (В). См. Уровень синергии 49, 59, 100, 101, 105, 107, 111-114, 118, 123, 129, 142, 171, 177, 204, 211, 212, 232, 234, 235, 248, 253, 260, 265, 269, 271, 292, 296, 307, 308, 324, 339, 367, 371, 373
 Тактильный 16, 45, 233, 234, 277, 292, 337, 347, 375, 447
 Тангореперцепторика 79, 101, 102, 122, 123, 160, 221, 374, 376, 386
 Телереперцепторы 13—17, 21, 22, 101, 111, 113, 124, 221, 271, 302, 370, 375, 385, 386
 Теменно-премоторный уровень
 (D). См. Уровень действий 59, 114, 126, 131, 150, 154, 155, 158, 160, 165, 171, 197, 203, 204, 210-213, 233, 269, 301, 303, 306, 309, 324, 373, 380
 Теория идентичных элементов 272
 Тетанус 66, 75, 83, 88, 282, 552
 Технический фон 113
 Ток действия 549
 Тонический 75—79, 88, 96, 175, 231, 306, 328, 332, 347, 367, 376, 474, 475, 478
 — напряжением 75
 Тонус 58, 74, 75, 83, 85-88, 93, 96, 97, 123, 176, 230, 232, 237, 246, 331, 332, 338, 339, 347, 367, 425, 473, 498
 — технический 86, 100
 Топология 169, 170, 181, 303, 369
 Точность (движения) 13, 25, 29, 32, 48, 75, 106, 125, 128-132, 137, 143, 153, 159, 180,

189—191, 200, 201, 243, 246, 248, 256, 257, 270, 274, 280, 293, 303, 304, 308, 320, 324, 337, 341, 357, 358, 361-373, 378, 404, 437, 446, 494, 497, 625, 630, 632, 633, 650
 Траектория 30, 33, 109-112, 128, 132, 133, 149, 180, 284, 286, 293, 300, 308, 312, 370-374, 403, 414, 501, 535, 536
 Тремор 62, 94, 98, 99, 107, 115, 197, 325, 328, 332, 337, 338, 346
 — покоя 94, 98, 332
 Тропизмы 16, 79, 123, 331, 494
 Упражнение 55, 144, 177, 196, 248, 250-254, 258, 270, 272, 274, 279, 282, 297, 303, 315, 316, 335, 355, 359, 364, 365, 373, 405, 406, 449, 453, 660
 Упражняемость (упражненность) 183, 232, 249, 250, 257, 272—274, 302, 303, 370
 Управление движением 29, 34, 167, 275, 305, 364, 385, 386, 395, 400, 402, 403, 406, 408, 411
 Управляемая система 33, 105, 281, 397
 Уровень
 — ведущий 8, 23, 25, 54, 58, 59, 80, 84, 85, 107, 118, 132, 142, 143, 184, 186, 234, 256, 259, 260, 264, 266, 267, 269, 270, 277, 297, 319, 326, 360
 — действий (D) 59, 114, 126, 131, 150, 154, 155, 158, 160, 165, 171, 197, 203, 204, 210-213, 233, 269, 301, 303, 306, 309, 324, 373, 380

— палеокинетических регуляций (A) 59, 60, 77, 79, 93, 94, 98, 100, 101, 107, 111, 113, 118, 123, 176, 211, 231, 232, 234, 245, 306, 339, 366, 367, 378
 — построения движений 59, 114, 158, 203, 209-212, 216, 240, 269, 292
 — пространственного поля (C) 19, 59, 98, 101, 113, 120, 121, 123, 125, 126, 128, 129, 131, 137, 139, 142, 148, 172, 182, 199, 204, 211, 212, 231, 233-235, 260, 265, 269, 296, 299, 301, 303, 307, 308, 309, 312, 313, 324, 368, 371, 373, 378
 — синергий (B) 49, 59, 100, 101, 105, 107, 111—114, 118, 123, 129, 142, 171, 177, 204, 211, 212, 232, 234, 235, 248, 253, 260, 265, 269, 271, 292, 296, 307, 308, 324, 339, 367, 371, 373
 — символических координации (E) 59, 111, 127, 193, 203, 242, 351
 — фоновый технический 58, 59, 78, 81, 85, 94, 96, 107, 113-115, 118, 129, 131, 133, 136, 145, 149, 166, 172, 176, 177, 183, 189, 193, 196-198, 200-203, 212, 225, 246, 256-260, 264-266, 268, 269, 271, 277, 283, 296, 301, 310, 319, 321, 329, 341, 342, 379, 407, 649, 653, 661
 Уровневый состав 54, 132, 315, 319, 321, 329, 359

Условная связь 16, 51, 250—252, 391, 392, 511

Фаза

— автоматизации 266, 274, 276, 299, 301
 — выявления сенсорных корrekций 295
 — переключения 269
 — росписи сенсорных корrekций 264
 — срабатывания 276
 — стабилизации 274, 276, 293, 299, 301
 — стандартизации 265, 276

Фазический 77, 240, 283

Фазовая (фазическая) волна 63, 66, 68—70, 73, 76, 283, 291

Фазовая скорость 63, 283, 291

Феномен свежих следов 410, 413
 Физиология активности 5, 6, 381, 382, 448, 449, 453, 469, 471, 480, 491, 495, 505, 510, 512

Фоновая компонента 172, 298

Фоновый состав 166, 212

Фоны (самостоятельные ф., собственно ф.) 95, 120, 153, 158, 179, 201, 208, 211, 242, 267, 268, 271, 272, 295, 303, 321, 349, 376

Характеристическая диаграмма длин, напряжений. См. Мышцы 35, 70

Хореи 120, 335, 336, 348

Центр

— речи 191

- тяжести 236, 274, 316, 625,
630-642

Центральная переработка 497

Центральная регуляция 76

Центральное замыкание 48

Циклическое взаимодействие 48

Циклограмма 132, 145, 146, 149,
184, 238, 239, 291

Штампы 100, 108-113, 132, 133,
138, 253, 280, 300, 335, 371, 544

Экстемпоральность 138, 139, 180,
299

Экстраполяция 457, 470-473,
493, 494

Экфория 187, 188, 268, 269, 275,
341, 342

Электромиограмма 86, 99

Электроэнцефалограмма 89, 91,
92, 412, 476, 478

Энцефализация 21, 78, 101, 215,
310

Эликритическая чувствитель-
ность 16, 79, 103

Эффектор 15, 93, 98, 102, 105, 108,
153, 155, 188, 198

Эффекторика 12, 13, 15, 18, 20, 84,
103, 120, 162, 164, 174, 207

Эффекторный

- аппарат (система) 14, 15, 19,
93, 102, 104, 139, 142, 143,
174, 186, 198, 217, 218,
220-226, 228, 232, 237, 250
- импульс 48, 54, 86, 88, 99,
112
- процесс 34, 35, 44, 45, 48, 88,
99
- стереотип ПО

Эффренация 329, 331, 333

Содержание

ОТ РЕДАКТОРА 3

ОТ СОСТАВИТЕЛЯ 6

О ПОСТРОЕНИИ ДВИЖЕНИЙ

Предисловие 8

Часть первая. Движения 11

Глава первая. О происхождении двигательной функции . . . 11

Эволюционное значение двигательной функции. Обогащение координационных ресурсов. Развитие структур центральной нервной системы. Возникновение и развитие уровней построения движений. Координационные контингенты движений

Глава вторая. О построении движений 26

Кинетические цепи тела и степени свободы подвижности. Трудности управления движениями системы с более чем одной степенью свободы. Основная задача координации. Значение упругости скелетных мышц и периферический цикл взаимодействий. Примеры осложненных соотношений между мышечными напряжениями и движением. Принцип сенсорных коррекций. Рефлекторное кольцо. Внутренние, реактивные и внешние силы. Определение координации движений. Уровни построения движений. Ведущие и фоновые уровни. Опись уровней построения

Глава третья. Субкортикальные уровни построения . . . 60

Палеокинетическая и неокинетическая системы. Свойства нервного процесса в обеих системах. Синапсы неокинетической системы. Альтерационные смещения характеристик. Палеорегуляция неокинетического процесса. Субстраты рубро-спинального уровня А. Аfferентации. Характеристический нервный процесс. Функции рубро-спинального уровня. Субординация. Мышечный тонус. Альфа-волны и палеокинетические регуляции. Самостоятельные движения и фоновые компоненты уровня А. Дисфункции

Глава четвертая. Субкортикальные уровни построения . . . 98

Филогенез уровня В. Субстраты. Ведущая аfferентация. Координационные качества. Самостоятельные движения. Фоновая роль. Дисфункции

Глава пятая. Кортикальные уровни построения . . . 120

Двойственность уровня С. Аfferентация. Пространственное поле. Характер движений уровня С. Пространственная обусловленность движений. Вариативность, переключаемость, экстерпальность. Субстраты. Самостоятельные движения. Фоновая роль. Дисфункции

Глава шестая. Кортикальные уровни построения . . . 154

Специфически человеческая принадлежность уровня D. Группа апраксий. Субстраты, Аfferентация. Смысловая структура действий. Пространство уровня действий. Эволюция взаимоотношений с предметом. Строение двигательных актов уровня D. Двигательный состав действий. Высшие автоматизмы. Роль премоторных систем. Сензорные и кинетические апраксий. Деавтоматизация. Классификация двигательных актов уровня D. Высшие кортикальные уровни. Уровни, лежащие выше уровня действий (группа E). Координационные свойства группы E

Глава седьмая. Возникновение и развитие уровней построения 214

Биогенетический закон и его ограничения. Эмбриогенез моторных центров мозга. Филогенез главных ядер мозга. Схема развития моторики позвоночных. Онтогенез моторики человека в первом полугодии жизни. Дозревание системы striatum. Онтогенез охватывания предмета. Развитие локомоций. Дозревание уровня действий. Развитие моторики в отрочестве. Пубертатный период

Глава восьмая. Развитие двигательных навыков 249

Условнорефлекторная теория развития двигательного навыка и ее ошибки. Определение двигательного навыка. Два периода развития навыка. Установление ведущего уровня. Определение двигательного состава. Выявление сензорных коррекций. Фаза автоматизации. Собственно фоны и автоматизмы. Переносы упражненности по навыку. Снижение порогов сигнальных рецепторов. Фаза срабатывания коррекций. Стандартизация. Три стадии развития навыков с синергетическими фонами. Динамически устойчивые движения. Дискретность и общечеловечность динамически устойчивых форм. Фаза стабилизации. Факторы, сбивающие автоматизацию. Возрастающее переключаемое™, переносы по органу и приему; генерализация навыка. Прелиминарные коррекции. Структура навыка письма. Развитие навыка письма. Реавтоматизация и вработывание

Глава девятая. Признаки уровневой структуры в патологии и в норме 317

Требования к признакам координационной структуры. Явления, обуславливающие сложность патологических синдромов. Влияние пункта поражения на рефлекторном кольце. Гиподинамии и эfferентации. Гиподинамические синдромы по уровням. Персеверации. Персеверации в норме. Группирование признаков по двум периодам развития навыка. Основные вопросы по уровневой структуре нормальных

движений. Признаки точности и вариативности. Уровневые проявления признака точности. Уровневые характеристики деавтоматизирующих факторов

ОЧЕРКИ ПО ФИЗИОЛОГИИ ДВИЖЕНИЙ И ФИЗИОЛОГИИ АКТИВНОСТИ

<i>Очерк восьмой. Назревшие проблемы регуляции двигательных актов.</i>	382
<i>Очерк девятый. Управление, кодирование и моделирование в физиологии</i>	416
<i>Очерк десятый. Модели как средство изучения нервно-двигательных процессов.</i>	438
<i>Очерк одиннадцатый. Пути и задачи физиологии активности.</i>	448
<i>Очерк двенадцатый. Новые линии развития в физиологии и биологии активности</i>	481

БИОМЕХАНИКА ДЛЯ ИНСТРУКТОРОВ

Предисловие.	514
Лекция 1-я.	517
Лекция 2-я.	537
Лекция 3-я.	554
Лекция 4-я.	576

Лекция 5-я.	595
Лекция 6-я.	617
Послесловие.	644
ЛИТЕРАТУРА.	666
ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ.	667
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ.	670

Научное издание

Бернштсйн Николай Александрович

Биомеханика и физиология движений

Технический редактор И. Л. Карюков
Корректор В. Д. Урина
Компьютерная верстка Е. А. Микерова

Сдано в печать 13.11.2003- Бумага офсетная. Формат 60x84/16.
Гарнитура Тайме. Печать офсетная. Усл. печ. л. 40,13.
Уч.-изд. л. 27,32. Тираж 5 000 экз. Заказ № 4212.

Издательство
Московского психолого-социального института
115191, Москва, 4-й Рошинский проезд, 9а,
Тел.: (095) 234-43-15, 958-17-74, доб. 111, 117
E-mail: publish@col.ru

Издательство НПО «МОДЭК»
394000, Воронеж, а/я 179. Тел.: (073-2) 49-57-35
E-mail: modek@modek.vsi.ru

Отпечатано с компьютерного набора,
в ФГУП «Издательско-полиграфическая фирма "Воронеж"»,
394000, Воронеж, пр-т Революции, 39

Н.А.Бернштейн

БИОМЕХАНИКА И ФИЗИОЛОГИЯ ДВИЖЕНИЙ Г*

Бернштейн
Николай Александрович

(05.10. 1896- 1961 гг.)

Кандидат наук (1946)

Российский психофизиолог, создатель концепции физиологии активности и методов регистрации естественных движений человека в норме и патологии. На основании его работ проводилось восстановление движений у раненных во время Великой Отечественной Войны, формирование спортивных навыков.

Труды Н.А. Бернштейна оказали большое влияние на развитие физиологии, психологии, биологии, кибернетики, философии, остеопатии.



9 785895 025062

ПСИХОЛОГИ РОССИИ
Серия основана в 2003 г.